This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1883.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

8494 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1883.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1883

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Gowlesto
Ingenieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1883.

PRÉSIDENCE DE M. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 décembre 1882 est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Panzani, professeur au Lycée Louis-le-Grand;
Sambourg, Inspecteur Ingénieur des lignes télégraphiques.

M. le Président donne lecture de deux Lettres, l'une de M. Ed. Becquerel, l'autre de M. Jamin, qui adressent à la Société leurs remerciements à l'occasion de leur nomination comme membres honoraires.

Avant l'ouverture du scrutin pour les élections, M. le Président annonce à la Société, de la part de M. Niaudet, que son état de santé ne lui permet plus de continuer les fonctions de Trésorier. M. le Président ajoute qu'en raison des services rendus à la Société, pendant huit années, avec tant de zèle et de dévouement, par M. Niaudet, le Bureau propose de lui conserver à titre honoraire les fonctions de Trésorier. La proposition est adoptée et M. Niaudet est nommé à l'unanimité Archiviste-Trésorier honoraire.

Le scrutin est ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire, du Secrétaire général, de l'Archiviste-Trésorier et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

Vice-President : M. POTIER.
Secrétaire général : M. JOUBERT.
Vice-Secrétaire : M. FOUSSEREAU.
Archiviste-Trésorier : M. MAURAT.

Sont élus membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :	*Membres non résidants :*
MM. COULIER.	MM. EGOROFF (Varsovie).
LIPPMANN.	VAN DER MENSBRUGGHE (Gand).
REYNAUD.	THOLLON (Nice).
DE ROMILLY.	XAMBEU (Saint-Sever).

M. ROSENSTIEHL examine la question de savoir si le phénomène des couleurs complémentaires est dû aux propriétés physiologiques de l'œil ou aux propriétés physiques de la lumière. Il règne dans les Traités spéciaux, même dans l'*Optique physiologique* de M. Helmholtz, la plus grande confusion entre le mélange des sensations et le mélange des lumières.

Son opinion est que la notion du blanc ne peut être définie physiquement. L'œil seul est juge dans ce cas : c'est donc à ses propriétés physiologiques qu'est due l'existence des couleur complémentaires.

M. MOSER, qui s'est occupé de recherches analogues à celles de M. Rosenstiehl dans le laboratoire de M. Helmholtz, affirme que les idées de M. Helmholtz sur la nécessité d'établir une distinction entre le mélange des lumières et le mélange des sensations sont en tout point conformes à celles de M. Rosenstiehl.

M. ROSENSTIEHL ne croit pas avoir vu nulle part cette distinction dans l'*Optique physiologique* de M. Helmholtz.

M. BERTIN regrette qu'on change le sens de l'expression *lumière blanche,* définie par Newton comme le mélange de toutes les lumières colorées du spectre solaire.

M. JAVAL fait remarquer ce qu'a de vague cette définition de Newton, puisque, aux différentes heures de la journée, la lumière solaire change de teinte, et que, d'après la définition de Newton, on arriverait à appeler blanches deux lumières produisant sur l'œil des effets très différents.

M. DE ROMILLY, qui a suivi autrefois les expériences de Foucault, dont il vient d'être question, ajoute que Foucault donnait le nom de *teinte neutre* au mélange de deux couleurs du spectre produisant sur l'œil la sensation de blanc et pensait que le blanc parfait devait être considéré comme la résultante de la superposition de toutes les teintes neutres.

M. E. BOUTY communique à la Société les principaux résultats des recherches de MM. MACÉ DE LÉPINAY et NICATI sur la photométrie des sources diversement colorées.

A propos de cette Communication, M. JAVAL croit devoir rappeler que, dès 1877, il avait dressé avec M. Nicati, depuis collaborateur de M. Macé de Lépinay, un plan d'étude complet sur ce sujet, ainsi que l'établit du reste un article paru, le 8 janvier 1878, dans la *République française.*

M. James Moser fait une Communication provisoire sur une *Méthode générale de renforcer les courants téléphoniques.* Il a employé cette méthode pour transmettre à Paris par un seul fil à 100 téléphones récepteurs la parole et la musique. Il a également transmis la parole à grande distance sur les lignes de l'Etat pour deux récepteurs. On parlait et entendait sans effort (1).

Le principe de la méthode consiste à grouper les bobines et les récepteurs, partie en tension, partie en quantité comme les éléments d'une pile. Pour la transmission de la musique de l'Hippodrome à la place Vendôme, par exemple, 24 bobines étaient groupées : 4 en tension, 6 en quantité, et les 100 téléphones récepteurs 6 en surface et 16 à 18 en tension.

Deux points de vue théorique indiquent un arrangement opposé des bobines induites; il faut de la tension pour avoir le maximum de rendement et de travail utile, et de la quantité pour avoir le minimum de perte latérale : fuites, condensation, absorption, etc. La pratique doit choisir un moyen terme entre les deux extrêmes. Le courant inducteur, produit par des accumulateurs, traverse d'abord 25 transmetteurs disposés en surface ou un seul transmetteur à contacts multiples, puis il passe par 24 bobines inductrices, groupées généralement en surface de manière à rendre très petite ($\frac{1}{4}$ d'ohm) la résistance du circuit primaire.

En résumé, le procédé de M. Moser revient à traiter les éléments des appareils téléphoniques comme des éléments de pile, de manière à obtenir dans chaque cas l'effet maximum.

ALLOCUTION DE M. GERNEZ,

PRÉSIDENT SORTANT.

Avant de céder à mon éminent successeur la place où m'ont élevé vos bienveillants suffrages, je dois, suivant l'usage, retenir quelques instants votre attention sur l'état de notre Société et sur les travaux accomplis pendant l'année qui vient de finir.

Jamais jusqu'ici notre Société n'avait été frappée de deuils plus nombreux : l'importance des pertes que nous avons éprouvées ajoute encore à l'amertume de nos regrets.

Dès les premiers jours de l'année nous avons perdu M. Billet, doyen de la Faculté des Sciences de Dijon, membre correspon-

---

(1) La dernière expérience a été faite entre Nancy et Paris.

dant de l'Académie des Sciences. Depuis plusieurs années déjà, sur la proposition de votre Conseil, vous l'aviez, à l'unanimité, nommé membre honoraire, pour témoigner par cette distinction, la plus élevée qu'il soit en votre pouvoir d'accorder, à quel degré de haute estime vous aviez apprécié les titres scientifiques d'un des physiciens les plus savants et les plus habiles de notre temps. Sa grande intelligence, la délicatesse de son esprit et la sûreté de son commerce laisseront chez ceux qui l'ont connu un souvenir impérissable.

Un autre esprit éminent nous a été bien prématurément enlevé : M. Ch. Briot, professeur de Physique mathématique à la Faculté des Sciences de Paris et maître de conférences à l'École Normale supérieure.

D'autres diront ailleurs, avec plus d'autorité, l'influence considérable qu'il a exercée sur l'enseignement des Sciences mathématiques et les progrès qu'il a fait faire à l'Analyse ; je rappellerai seulement ici qu'il fut un de ceux qui ont le plus puissamment soutenu notre Société, dès son origine, par ses vives sympathies et ses précieux encouragements. Avec l'ardeur d'un patriote et la bienveillance d'un père, il s'intéressait à l'avenir des jeunes physiciens dont il regardait l'intelligence et le travail comme représentant l'espoir et la fortune du pays, les soutenant dans leurs défaillances et leur proposant sans cesse un but élevé à atteindre, en même temps qu'il leur donnait l'exemple d'une vie d'abnégation, de travail et d'honneur. Les nombreuses générations d'élèves auxquels il a prodigué ses affectueux encouragements aimeront à voir en lui le modèle de l'homme de bien, du professeur et du savant.

D'autres collègues ont encore droit à nos hommages : ce sont M. Van den Kerkhove, membre du Sénat belge, qui présidait en 1881 la Commission belge de l'Exposition internationale d'électricité et qui avait donné à notre Société un témoignage de ses vives sympathies en devenant souscripteur perpétuel; M. Delestrée, ancien professeur de Physique, inspecteur d'Académie à Niort; M. Delhaye, professeur au Lycée de Saint-Omer; M. Leclercq, dessinateur au chemin de fer du Nord, et M. Louis Poussin.

Que dire, enfin, en présence de cette autre mort qui est venue jeter le deuil dans une famille à laquelle appartiennent plusieurs

de nos collègues et qui laisse de profonds regrets parmi nous? La Société perd en M. Antoine Bréguet l'un de ses membres les plus jeunes, les plus intelligents et les plus actifs, un de ceux sur lesquels nous avions le droit de compter le plus pour l'avenir. Il joignait aux connaissances solides du savant le coup d'œil, la décision, la persévérance nécessaires à l'industriel et il y avait beaucoup à attendre d'un esprit aussi vif pour la solution des questions importantes qui retiennent tant de physiciens près des applications de l'électricité. Puissent les sympathies de ceux qui l'ont connu adoucir l'amertume des chagrins de sa famille.

La Société a donc perdu pendant l'année 1882 huit de ses membres; elle en compte, au 1er janvier 1883, 550, dont 68 souscripteurs perpétuels, et 37 qui ont été admis dans le courant de l'année. Le développement de notre Société est donc incontestable; cependant, si l'on compare l'accroissement du nombre des membres à celui des trois années précédentes, qui a été de 48, 93 et 50 membres nouveaux, on constate une diminution sensible dans le mouvement de progression et il y a là une indication qui doit nous inviter à recruter de nouveaux adhérents : nous les trouverons sans peine, il faut l'espérer du moins, parmi les personnes qui s'occupent des applications, aujourd'hui si nombreuses, des diverses branches de la Physique ou qui s'intéressent aux progrès de la Science.

Nos séances ont été suivies par un nombre toujours croissant d'auditeurs qui étaient attirés par l'importance des communications et l'éclat des expériences. C'est l'électricité qui, cette année encore, a été l'objet des recherches les plus nombreuses et les plus variées. Je rappellerai les travaux de M. Baille, *Sur la mesure des potentiels correspondant à des distances explosives déterminées;* de M. Curie, *Sur le dégagement d'électricité dans les cristaux hémiédriques;* de M. Mascart, *Sur la mesure absolue des courants par l'électrolyse et sur la propagation de l'électricité dans l'état variable;* de M. Pellat, *Sur le changement de nature qu'éprouve la couche superficielle d'un métal par le voisinage d'un autre métal à la température ordinaire;* de M. Bouty, *Sur l'électrolyse;* de M. Guebhard, *Sur la théorie des figures électrochimiques équipotentielles;* de M. Cabanellas, *Sur le transport de l'énergie par les machines dynamo-électriques;* de M. Lippmann, *Sur une méthode nouvelle pour la détermination*

de l'ohm et sur la théorie des doubles couches électriques, etc.

En Optique, je signalerai les remarquables expériences de M. Cornu, *Sur l'achromatisme des phénomènes d'interférence et le spectre d'absorption atmosphérique;* celles de M. Janssen. *Sur la photographie stellaire;* de M. de Chardonnet, *Sur la transparence actinique des miroirs argentés;* de M. Marey, *Sur l'application de la Photographie à l'étude physiologique du mouvement;* de MM. Chappuis et Hautefeuille, *Sur les spectres d'absorption de l'ozone et de l'acide pernitrique,* de M. Javal, *Sur l'optique de l'œil,* etc.

Les autres parties de la Physique ont donné lieu à d'intéressants Mémoires, parmi lesquels je citerai ceux de M. d'Arsonval, *Sur la calorimétrie animale et locale;* de M. Mascart, *Sur une perturbation magnétique;* de M. Collet, *Sur de nouveaux compas compensés à l'usage de la marine;* de M. Berson, *Sur l'influence de la température sur l'aimantation;* de M. Wolf, *Sur l'histoire des anciens étalons de mesure.*

Les membres de la Société ont vu fonctionner l'ingénieux mélographe répétiteur de M. Carpentier; ils ont eu sous les yeux de nouveaux et curieux appareils présentés par MM. d'Arsonval, Terquem, Jablochkoff, Faure, Landolt, Nachet jeune, Solignac, Laurent, Goulier, Cailletet, Alvergniat, Wroblewski, Michelson, Duboscq, Molteni, Bourdon, Trouvé, Reynier, Dupuy, Baudot, Dumoulin-Froment, Dini, Napoli, Crova, Ducretet, Olivier, Neyreneuf, Lartigue, Weyher et Richemond, qui ont donné tant d'éclat à la séance de Pâques.

En présence de cette activité de la Société, de l'accroissement du nombre de ses membres et de l'état prospère de ses finances, le Conseil a jugé qu'il était de son devoir de faire de nos économies un emploi qui fût utile à tous les membres et qui contribuât aux progrès de la Physique, en donnant à tous une connaissance plus précise des travaux de ceux qui l'ont fondée. Il vous a proposé de consacrer les ressources disponibles de chaque année à la publication d'un ou deux Volumes comprenant la réimpression des Mémoires originaux les plus importants publiés à diverses époques en France et à l'Étranger, Mémoires qui ne sont accessibles qu'à ceux qui sont à proximité des grandes bibliothèques scientifiques et que beaucoup d'entre nous ne connaissent que par des analyses

plus ou moins décolorées. Vous avez adopté cette proposition à l'unanimité dans la séance du 5 mai et une Commission, composée de MM. Bertin, Cornu, Gernez, Janssen, Joubert et Potier, a été chargée de procéder au choix des Mémoires qui composeront les premiers Volumes de cette collection. Le premier est en cours de publication et comprendra les travaux les plus importants de Coulomb : M. Potier a bien voulu donner ses soins à cette réimpression; M. Joubert réunit, pour constituer le second volume, ce qu'il y a de plus remarquable dans l'œuvre de Volta; d'autres Volumes contiendront divers Mémoires classiques de Borda, de Cavendish, etc. Ils seront distribués gratuitement à tous les membres de la Société et constitueront ce que l'on pourrait appeler la Bibliothèque du physicien.

Le Conseil s'est aussi préoccupé de donner plus de développement à la Bibliothèque circulante, qui était limitée jusqu'ici aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* aux *Annales de Chimie et de Physique,* au *Philosophical Magazine,* aux *Annalen der Physik und Chemie.* La régularité avec laquelle fonctionne ce service a engagé le Conseil à mettre en circulation les *Beiblatter* d'El. Wiedemann l'*American Journal,* l'*Electrotechnische Zeitschrift,* le *Journal of Telegraph Engineers,* qui présentent un sérieux intérêt pour un grand nombre de nos collègues.

Cette bibliothèque circulante était une création chère à notre premier secrétaire général qui s'était donné la tâche de la faire réussir, malgré des difficultés de détails, et qui y est parvenu. Je suis heureux de vous annoncer que le buste de marbre qui doit rappeler le souvenir des services que d'Almeida a rendus à notre Société est presque terminé, qu'il est digne de ce qu'on pouvait attendre de l'artiste qui a bien voulu reproduire cette physionomie si sympathique et que l'on sera en mesure d'inaugurer ici l'œuvre de M. Guillaume à la séance de Pâques. Nous espérons que nos collègues de la province auront à honneur de se joindre à nous dans cette expression d'affectueux hommage rendu à la mémoire du plus dévoué des fondateurs de notre Société.

Permettez-moi, en terminant, de vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait en me choisissant pour présider nos séances, et de votre constante bienveillance qui a rendu toujours facile une

tâche parfois un peu délicate. Je prie M. Janssen, président pour l'année 1883, de vouloir bien présider la séance.

Définition des couleurs complémentaires;
par M. A. Rosenstiehl.

La question qui doit être résolue dans cette Note est celle de savoir si le phénomène des couleurs complémentaires est dû aux propriétés physiques de la lumière ou à l'organisation spéciale de l'œil.

Mon but, en posant cette question, est de rendre attentif à une erreur généralement commise par la plupart des auteurs qui ont donné une définition des couleurs complémentaires.

Ces définitions non seulement ne sont pas d'accord entre elles, mais sont inexactes et prouvent que l'on confond les phénomènes physiques avec ceux qui sont d'ordre physiologique.

Or, quand on étudie les lois de la vision des couleurs [1], il faut nettement distinguer trois choses : la lumière et le résultat du mélange des lumières; la matière qui colore et le résultat du mélange des matières colorantes; l'œil qui perçoit et le résultat du mélange des sensations colorées.

Déjà, en 1829, M. Plateau a fait voir qu'entre le résultat du mélange des matières et celui des sensations il y a une différence profonde.

Mais on n'a pas, à ma connaissance du moins, insisté sur la distinction qu'il faut faire entre le mélange des lumières colorées et celui des sensations.

Bien au contraire, dans les Traités spéciaux, la confusion entre ces deux ordres de phénomènes est faite constamment.

Je puis citer à l'appui les expériences de Newton sur la composition de la lumière blanche (1704).

« Après avoir réuni en une image blanche, à l''aide d'une len-

---

[1] Le mot *couleur* est employé ici toujours comme synonyme de « sensation colorée ».

tille, les différents rayons colorés séparés par un prisme, on fait glisser devant la lentille un instrument en forme de peigne à larges dents, dont chacune, en passant, intercepte nécessairement une partie des rayons colorés.

» Alors, si le peigne se meut avec lenteur, on voit l'image formée au foyer de la lentille se colorer successivement de teintes diverses, résultant du mélange des rayons qui passent dans les intervalles des dents; mais si l'on fait mouvoir le peigne avec une rapidité suffisante, toute coloration disparaît dans l'image focale, qui redevient complètement blanche ». (Plateau, *Bibliographie analytique,* Section I, p. 11.)

Dans cette expérience du peigne, dont le mouvement rapide fait disparaître toute coloration, ce n'est pas la lumière blanche qui se trouve produite, mais la sensation du blanc, qui résulte du mélange des sensations de couleur.

Si l'œil ne possédait la propriété de garder pendant un temps appréciable ses impressions, le mouvement du peigne eût produit un résultat différent.

Cette expérience de Newton prouve que la sensation du blanc est une sensation complexe.

Celle qu'il fit avec des poudres colorées est du même ordre.

Si le mélange de diverses matières colorantes a pu paraître blanc à distance, cela tient uniquement à ce que la vue de petits objets est confuse; ce n'est pas le mélange des lumières colorées réfléchies par ces parcelles de matière qui arrive à l'œil sous forme de la lumière blanche; ce sont des images qui se confondent sur la rétine qui produisent la sensation du blanc.

Cette expérience repose encore sur une propriété physiologique de l'œil.

Les disques tournants employés, de 1762, par M. Muschenbroeck se trouvent cités dans les Ouvrages de Physique et de Physiologie comme un moyen de mélanger les *lumières colorées.*

C'est là l'exemple le plus frappant de la confusion que je tiens à signaler : confusion qui s'est maintenue jusque dans les Traités les plus récents. (*Voir* Rood, *Théorie scientifique des couleurs,* Paris, Germer-Baillière, 1882, p. 109.)

Il est certain que le mélange des couleurs ne se fait pas sur le

disque, ni dans l'espace intermédiaire, mais dans l'œil, grâce à la persistance des impressions sur la rétine.

Le disque tournant offre un moyen de mélanger des sensations et non des lumières.

Il faut donc faire une différence entre la lumière blanche, qui est de nature objective, et la sensation du blanc obtenue par la succession rapide de sensations de couleurs qui est un phénomène subjectif.

Et pour mettre en relief l'importance de cette distinction, je rappellerai les faits suivants : Helmholtz a fait de la lumière blanche par la superposition de deux rayons colorés simples, Maxwell en a fait en mélangeant trois par trois certaines couleurs du spectre.

Ces lumières blanches, diverses au point de vue physique, sont identiques à la vue tant qu'elles tombent sur un écran incolore. Mais la diversité de leur composition physique devient visible dès qu'elles éclairent un objet coloré.

Une étoffe teinte, par exemple, en rouge d'Andrinople, qui absorberait tous les rayons colorés, sauf le rouge et le violet, paraîtrait rouge sombre dans la lumière blanche formée par le couple rouge et vert bleu; elle serait noire dans la lumière blanche faite avec un rayon jaune et un rayon bleu, violet foncé dans le couple jaune vert et violet.

Dans des éclairages en apparence identiques, le même objet apparaîtra tour à tour lumineux ou noir, rouge ou violet.

Des expériences de cette nature ont été faites autrefois par Foucault; elles n'ont pas été publiées, mais ses amis en ont conservé le souvenir. On peut concevoir qu'un même corps, *blanc* dans telle lumière binaire, puisse paraître *noir* dans telle autre; il suffit qu'il ait la propriété d'étendre deux radiations de couleur complémentaire.

Cette discussion montre la nécessité absolue de faire la différence entre le mélange des lumières et celui des sensations; elle nous conduit à résoudre la question posée au début de cette Note.

De l'existence de lumières blanches diverses, il résulte que la notion du blanc n'a rien de défini physiquement. C'est une propriété de l'œil de voir *blancs* certains mélanges de couleurs.

C'est donc à l'organisation même de l'œil qu'est due l'existence

de couleurs complémentaires ; dès lors on doit les définir ainsi : *ce sont les couleurs qui, mélangées deux à deux dans des proportions déterminées produisent la sensation du blanc.*

RECHERCHES SUR LA COMPARAISON PHOTOMÉTRIQUE DES SOURCES DIVERSEMENT COLORÉES, ET EN PARTICULIER SUR LA COMPARAISON DES DIVERSES PARTIES D'UN MÊME SPECTRE (1).

PAR MM. J. MACÉ DE LÉPINAY ET W. NICATI.

I. Toute méthode photométrique repose sur la possibilité d'apprécier l'égalité d'éclairage de deux surfaces éclairées l'une par la première, l'autre par la seconde des deux sources lumineuses étudiées.

Cette appréciation, qui semble au premier abord impossible dans le cas de sources diversement colorées, peut se faire néanmoins avec une certaine exactitude, et cela de deux manières distinctes, en prenant pour point de départ deux fonctions de l'œil bien différentes, qui nous semblent correspondre aux deux expressions *voir* et *distinguer* (2).

1° Quelque différentes que soient les colorations des deux surfaces voisines que l'on compare, l'expérience montre que, si l'on fait varier l'intensité d'éclairage de l'une d'elles, l'œil pourra apprécier avec une certaine exactitude l'instant où ces deux sur-

---

(1) Dans cet article, nous nous proposons uniquement d'exposer les principaux résultats de nos recherches. Pour tout ce qui est relatif à la description des appareils et aux détails des expériences, nous prions le lecteur de se reporter au Mémoire complet, qui paraîtra prochainement dans les *Annales de Chimie et de Physique*. Toutes ces recherches ont été effectuées dans l'une des salles de l'Observatoire de Marseille, gracieusement mise à notre disposition par M. Stéphan, directeur.

(2) *Voir*, pour la discussion des méthodes, *Annales de Chimie et de Physique*, novembre 1881.

faces paraîtront également éclairées, l'instant, en d'autres termes, où elles paraîtront avoir *même clarté* (1).

Cette appréciation, toutefois, ne se fait avec quelque précision qu'à la condition essentielle *que les surfaces à comparer soient suffisamment petites*. Nous avons fait usage d'un photomètre de Rumford, dont la tige opaque avait seulement $0^m,001$ de diamètre.

2° Nous pouvons également prendre comme point de départ la faculté de l'œil de nous faire distinguer les détails des petits objets, noirs sur fond blanc, tels que des caractères d'imprimerie. On sait que, quelle que soit la coloration de la source éclairante, cette facile distinction diminue avec l'intensité de l'éclairage, et augmente avec elle. En d'autres termes, l'acuïté visuelle augmente et diminue en même temps que l'intensité lumineuse objective (2).

Nous pourrons donc considérer deux quantités de lumière comme égales entre elles lorsque, éclairant un même objet incolore (noir sur fond blanc), placé toujours à la même distance de l'observateur, elles lui en font percevoir les détails avec la même netteté, ou encore *lorsqu'elles ramènent l'acuïté visuelle à la même valeur* (3).

Ces deux définitions, également rationnelles, ne sont nullement équivalentes : nous avons eu précédemment l'occasion de l'établir (4). C'est ce qui ressortira plus complètement des mesures que nous avons effectuées sur les radiations simples du spectre par l'une et l'autre de ces deux méthodes photométriques.

II. Mais, avant d'exposer les résultats de nos recherches, il est nécessaire de définir deux termes, dont l'emploi s'impose dans toute comparaison photométrique de sources colorées.

Helmholtz a montré, comme conséquence du phénomène connu

---

(1) Méthode employée par Fraunhofer (*Denkschriften der Bayrischen Akademie,* 1815) et O.-N. Rood (*Journal de Physique,* t. VIII, p. 215).

(2) *Journal de Physique,* 2e série, t. I, p. 162; 1882.

(3) Ce même principe a été appliqué par Herschel (cité dans la *Physique de Daguin,* t. IV, p. 248), par W. Siemens (*Wiedemann's Annalen,* t. II, p. 521), par nous-mêmes (*Comptes rendus,* mai 1880), et enfin par MM. Crova et Lagarde (*Journal de Physique,* 2e série, t. I, p. 162; 1882).

(4) Voir *Annales de Chimie et de Physique; loc. cit.*

sous le nom de *phénomène de Purkinje*, que la comparaison des intensités de deux sources colorées n'est en général pas permise. Pour préciser, supposons une source jaune (lampe Carcel, par exemple) et une source bleue placées à la même distance de l'écran, et supposons que cette dernière source soit la plus faible. Nous pourrons ramener les deux ombres à paraître de même clarté, soit en augmentant la quantité de lumière bleue, la source jaune restant immobile, soit en diminuant la quantité de lumière jaune, la quantité de lumière bleue restant invariable. Or ces deux expériences conduisent, pour la valeur de l'intensité de la source bleue, à des nombres qui peuvent être très différents.

Toute difficulté disparaît par l'emploi exclusif des expressions *coefficients d'égale clarté, coefficients d'égale acuïté.*

En particulier, s'il s'agit de comparer entre elles les radiations spectrales, nous imaginerons tout d'abord le spectre amené à un état de clarté tel, que la clarté maxima dans le jaune ait une valeur donnée, définie comme égale à celle d'une lampe Carcel étalon, placée à une distance déterminée de l'écran. *Nous appellerons* coefficient d'égale clarté *relatif à une région quelconque de ce spectre le nombre qui exprime dans quelle proportion nous devrons faire varier la quantité de lumière blanche, pour obtenir en cette région la même clarté que possédait primitivement la partie la plus intense du spectre.*

Les coefficients analogues, déduits de l'observation de l'acuïté visuelle, porteront le nom de *coefficients d'égale acuïté.*

Toute difficulté provenant du phénomène de Purkinje a bien disparu, car dire qu'en une région du spectre le coefficient d'égale clarté est C revient à exprimer un simple fait expérimental.

III. Les coefficients ainsi définis ne sont point constants. Ils dépendent essentiellement, toutes les autres conditions restant les mêmes, de la clarté à laquelle a été amenée au préalable la radiation la plus intense du spectre. Il est important de connaître tout d'abord les lois de ces variations.

Dans le cas des coefficients d'égale clarté, nous y parviendrons en résolvant tout d'abord le problème suivant : Soient deux sources

A et B de couleurs différentes. Représentons par A les quantités de lumière envoyées sur l'écran par l'une ou par l'autre de ces deux sources au moment où elles donnent des ombres de même clarté que l'étalon Carcel placé à $6^m,15$ de l'écran. Si nous venons à faire varier dans le rapport de 1 à Q la quantité de lumière envoyée par A, il nous faudra, pour rétablir l'égalité des ombres, faire varier la quantité de lumière envoyée par B dans une proportion Q′ en général différente de Q. Nous nous sommes proposé de trouver la relation qui existe entre Q et Q′ pour les diverses radiations simples du spectre. Nous choisirons pour source A la radiation jaune la plus intense du spectre.

On peut arriver à cette relation de deux manières. Nous indiquerons ici seulement la plus simple des deux démonstrations que l'on peut en donner (1).

Nous nous appuierons à cet effet : 1° sur l'énoncé donné par Helmholtz du phénomène de Purkinje : « L'intensité de la sensation est une fonction de l'intensité lumineuse objective qui varie suivant l'espèce de lumière. »

2° Nous admettrons, comme exacte à la fois pour toutes les radiations simples du spectre, la loi de Fechner que « l'intensité de la sensation S varie comme le logarithme de l'intensité lumineuse objective » (2).

3° Nous remarquerons enfin qu'à des ombres de même clarté correspondent évidemment des intensités de sensations égales.

Nous aurons donc, entre les quantités Q de lumière jaune et Q′ d'une autre lumière quelconque, capables de donner des ombres de même clarté, la relation

$$S - s = M \log Q = M' \log Q',$$

d'où

$$\log Q = \frac{M'}{M} \log Q', \quad \log Q = A \log Q'.$$

De nombreuses expériences ont vérifié complètement l'exac-

---

(1) La démonstration, plus longue, donnée par nous dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (20 mars 1882), a l'avantage de reposer directement sur la loi de Bouguer-Masson. La loi de Fechner n'étant, du reste, qu'une interprétation de cette loi, les deux démonstrations rentrent au fond l'une dans l'autre.

(2) *Optique physiologique*, p. 312 (414).

titude de cette dernière formule. Les écarts entre le calcul et l'observation n'ont, en effet, presque jamais atteint 3 pour 100.

Il suit de là un fait important, c'est que, pour caractériser de la manière la plus complète la marche et l'intensité du phénomène de Purkinje pour une radiation donnée, et dans des conditions déterminées, il nous suffira de connaître la valeur numérique correspondante de la constante A.

Si nous remarquons de plus que, pour toutes les radiations spectrales, comparées à la radiation jaune, nous avons trouvé $A < 1$, nous pourrons dire :

L'intensité du phénomène de Purkinje, d'autant plus grande que A *est plus différent de l'unité, pourra être caractérisée par la valeur numérique de* $1 - A$.

Un fait capital, que nous ne ferons toutefois que signaler ici, est le suivant : pour chacune des radiations du spectre, l'intensité du phénomène de Purkinje diminue dans de notables proportions en même temps que l'étendue des images rétiniennes des deux ombres; elle varie donc tout à la fois avec la hauteur des ombres et avec la distance de l'observateur à l'écran.

Toutefois, dans le cas d'ombres assez petites pour que l'ouverture du cône sous lequel elles sont vues soit inférieure à 45′ environ, l'intensité du phénomène de Purkinje devient invariable. C'est à ce cas limite seul que sont relatifs les nombres suivants :

λ.	Valeur de A.
$\lambda > 0^{\mu},517$	1,000
$\lambda = 0,485$	0,950
0,471	0,913
0,449	0,899
0,430	0,851

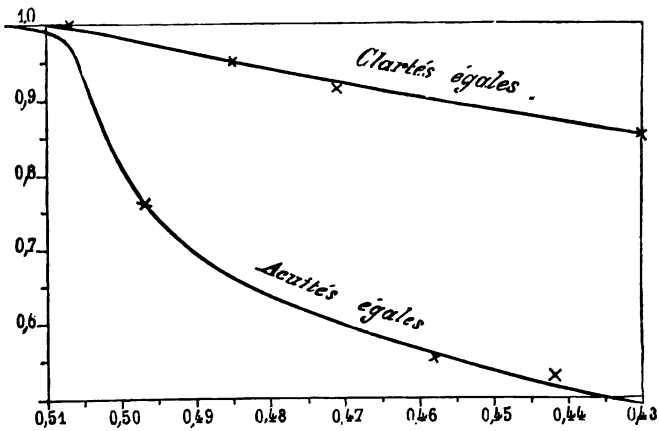
Si nous prenons pour abscisses les longueurs d'ondes, pour ordonnées les valeurs de A (diminuées de 0,5), nous obtiendrons la courbe supérieure de la *fig.* 1.

Il est à remarquer que ces expériences confirment complètement une loi que nos recherches antérieures, fondées sur le principe des acuïtés visuelles, nous avaient permis de démontrer, et qui peut être énoncée ainsi :

L'intensité du phénomène de Purkinje est nulle, chaque fois que l'on compare entre elles deux radiations quelconques de la moitié la moins réfrangible du spectre. Le phénomène de Purkinje se produit, au contraire, chaque fois que l'on compare à l'une quelconque de ces radiations l'une des radiations de la moitié la plus réfrangible du spectre, et avec une intensité qui croît rapidement avec la réfrangibilité de cette dernière (¹).

IV. Des considérations tout à fait analogues à celles que nous venons d'exposer nous ont conduits à trouver une relation entre

Fig. 1.



les quantités q de lumière jaune et q' de lumière bleue qui donnent des acuïtés visuelles égales.

MM. Sous et Charpentier ont, en effet, démontré que l'acuïté visuelle variait comme le logarithme de l'intensité lumineuse objective. Cette loi, appliquée aux nombres inscrits dans le Tableau III de l'article passé dans le *Journal de Physique* (²), se trouve être con-

(¹) *Voir* Helmholtz, *Pogg. Annalen,* t. XCIV, p. 19.

(²) *Journal de Physique,* 2ᵉ série, t. I, p. 37. Il est important de remarquer que, dans toutes les expériences qui ont servi à établir ce Tableau, l'objet dont on cherchait à distinguer les détails était constamment vu sous un angle inférieur à 45′.

firmée complètement, dans le cas des radiations jaunes, et avec une assez grande approximation pour les radiations bleues. On trouve de la sorte

$$V - 0,33 = 0,2118 \log q = 0,2118 . B \log q',$$

d'où

$$\log q = B \log q'.$$

Les valeurs de B ainsi calculées sont les suivantes

λ.	Valeur de B.
$\lambda > 0,507$	1,000
$\lambda = 0,497$	0,761
0,458	0,559
0,442	0,530
0,428	0,481

Ces valeurs de B ont servi à construire la courbe inférieure de la *fig.* 1.

De la comparaison des deux courbes de cette figure on tire immédiatement la loi suivante : *Le phénomène de Purkinje, tel qu'il ressort des expériences fondées sur l'acuïté visuelle, se produit avec une intensité de beaucoup supérieure à celle avec laquelle il se manifeste dans les expériences fondées sur les clartés égales.*

V. Au moyen des deux formules que nous avons établies, il nous sera facile de calculer les variations que subissent les coefficients d'égale clarté, ou d'égale acuïté, lorsqu'on augmente dans le rapport de 1 à Q la proportion de lumière jaune de la région la plus intense du spectre. On démontre, en effet, sans peine les relations

$$\log C_q = \log C_1 + \frac{1 - A}{A} \log Q \text{ (clartés égales)}$$

et

$$\log C_q = \log C_1 + \frac{1 - B}{B} \log Q \text{ (acuïtés égales).}$$

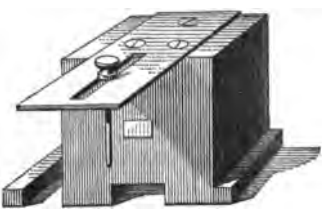
VI. Dès nos premières recherches sur la détermination des coefficients d'égale clarté, nous nous sommes trouvés en présence d'une difficulté inattendue, et qui est d'une très grande importance. Voici une expérience simple, souvent répétée par nous, en présence de divers observateurs, et qui permet de la constater facilement.

Au moyen d'un photomètre de Rumford (*fig.* 2) et de deux

sources, l'une jaune (lampe modérateur et verre jaune), l'autre bleue (lumière Drummond et sulfate de cuivre ammoniacal), nous donnions naissance à deux ombres de $0^m,001$ de large sur $0^m,008$ de hauteur. L'observateur se plaçant à $0^m,30$ en avant de l'écran, on déplaçait la source jaune jusqu'à obtenir l'égalité de clarté des ombres.

Dans ces conditions, on constate immédiatement que si l'observateur se rapproche, ce qui a pour résultat d'accroître l'étendue des images rétiniennes des ombres, l'égalité de clarté cesse ;

Fig. 2.



l'ombre bleue paraît beaucoup plus éclairée que l'ombre jaune. L'inverse se produit si l'observateur s'éloigne au delà de $0^m,30$, ce qui a pour résultat de diminuer l'étendue impressionnée de la rétine.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce phénomène, que nous avons étudié en détail. Nous ne signalerons parmi les résultats de nos recherches que le suivant :

Les coefficients d'égale clarté deviennent indépendants de l'étendue impressionnée de la rétine, du moment que l'ouverture du cône, sous lequel on voit l'une ou l'autre des deux ombres, est plus petite que 45′ *environ.*

Cette loi nous semble importante, car elle indique nettement les circonstances dans lesquelles on doit nécessairement se placer dans toute expérience photométrique relative à des sources diversement colorées. Ces conditions ont été satisfaites dans toutes les expériences dont nous donnons plus loin les résultats.

VII. Nous n'entrerons point dans le détail des expériences que nous avons effectuées par l'une ou l'autre méthode sur le spectre

solaire. Pour ce qui est des mesures fondées sur le principe des clartés égales, la *fig.* 2 permet de se rendre immédiatement compte de la forme du photomètre employé. Il nous suffira de dire que le petit écran blanc central était blanchi au sulfate de baryte, récemment précipité. La couche blanche, parfaitement mate et inaltérable, était fréquemment renouvelée.

Dans le cas des mesures fondées sur le principe des acuïtés égales, effectuées avec le même appareil spectral que les précédentes et dans les mêmes régions du spectre, le signe employé est celui que nous avons précédemment décrit (*fig.* 3). Nous le

Fig. 3.

reproduisons ici en vraie grandeur. Les traits, d'un noir absolu [1], se détachaient sur un fond blanchi également au sulfate de baryte.

Tous les nombres que nous donnons plus loin ont été rapportés au spectre normal par un procédé de calcul analogue à celui que MM. Crova et Lagarde ont décrit récemment [2].

TABLEAU I [3].

Coefficients d'égale clarté dans le spectre normal.

λ.	Q = 0,25.	Q = 0,50.	Q = 1,00.	Q = 1,25.	Q = 2,50.
μ 0,670	44,33	44,33	44,33	44,33	44,33
0,625	3,405	3,405	3,405	3,405	3,405
0,589	1,315	1,315	1,315	1,315	1,315
0,561	1,015	1,015	1,015	1,015	1,015
0,537	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
0,517	1,933	1,933	1,933	1,933	1,933
0,500	5,174	5,259	5,345	5,369	5,461
0,485	11,40	11,82	12,26	12,40	12,87
0,471	18,80	19,87	21,00	21,41	22,59
0,459	35,94	38,56	41,36	42,40	45,38
0,449	49,63	54,07	58,91	60,73	65,97
0,439	71,02	78,41	86,57	89,59	98,67
0,430	116,1	130,0	145,5	151,3	168,9

[1] Ils étaient découpés à jour dans une feuille de papier, en arrière de laquelle se trouvait une cavité profonde dont les parois étaient recouvertes de velours noir.

[2] *Journal de Physique*, (2), t. I, p. 162; 1882.

[3] Dans ce Tableau, les nombres inscrits dans la quatrième colonne ont été directement déterminés. Les autres en ont été déduits au moyen de la formule précédemment démontrée.

VIII. Le Tableau I donne les valeurs des *coefficients d'égale clarté* pour divers degrés de clarté de la radiation la plus intense du spectre normal ($\lambda = 0^{\mu},555$ environ). Cette clarté maximum est mesurée par la quantité Q de lumière de l'étalon Carcel qui lui est équivalente. Nous avons pris comme unité de quantité de lumière celle qu'envoie l'étalon Carcel placé à $6^{m},15$ de distance de l'écran.

Les coefficients d'égale clarté, constants dans toute la moitié la moins réfrangible du spectre, augmentent, dans la partie la plus réfrangible, à mesure que la clarté du jaune spectral augmente : cette dernière variant dans le rapport de 1 à 10, le coefficient relatif au voisinage de la raie G augmente dans le rapport de 1 à 1,455.

IX. Pour ce qui est des nombres obtenus dans nos expériences fondées sur le principe des acuïtés visuelles égales, il est inutile de les reproduire dans un Tableau spécial. Il est facile en effet de les obtenir en combinant les nombres inscrits dans les Tableaux I, II et III.

X. Si nous comparons entre elles les valeurs des coefficients d'égale acuïté (C.*e*.*a*) et d'égale clarté (C.*e*.*c*), *obtenues dans les mêmes conditions de clarté du jaune spectral,* nous obtenons les résultats consignés dans les deux Tableaux suivants. Le premier est relatif à toutes les radiations de la moitié la moins réfrangible du spectre, pour lesquelles le rapport $\frac{C.e.a}{C.e.c}$ est constant; le second, aux radiations les plus réfrangibles du spectre, pour lesquelles le rapport des deux coefficients augmente rapidement avec la valeur de la clarté de la radiation jaune.

TABLEAU II.

λ.	$\frac{C.e.a}{C.e.c}$.
$0^{\mu},670$	0,945
0,625	0,753
0,589	0,767
0,561	0,989
0,537	1,055
0,517	1,180

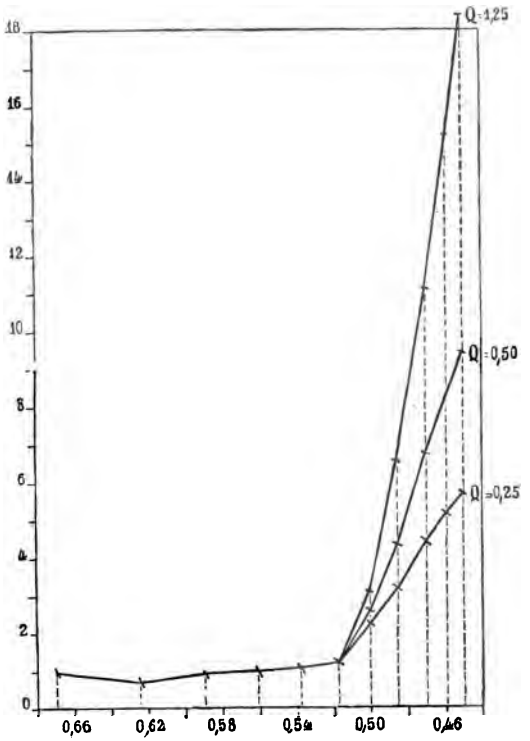
TABLEAU III (1).

λ.	$\frac{C.e.a}{C.e.c}$ Q = 0,25.	Q = 0,50.	Q = 1,25.
$0^{\mu},500$	2,240	2,603	3,162
0,485	3,127	4,309	6,585
0,471	4,408	6,623	11,33
0,459	5,164	8,153	15,11
0,449	5,668	9,392	18,24

(1) Les coefficients d'égale acuïté qui correspondent à la deuxième colonne de

Si l'on prend pour abscisses les longueurs d'onde, pour ordonnées les valeurs du rapport des deux coefficients inscrites dans ces Tableaux, on obtient les trois courbes de la *fig.* 4, courbes

Fig. 4.



qui ont une partie commune (depuis le rouge jusqu'au vert, $\lambda = 0^{\mu},517$).

XI. De l'examen, soit des nombres inscrits dans ces Tableaux, soit de l'une quelconque des trois courbes de la *fig.* 4, on peut tirer les conclusions suivantes :

Le spectre se partage nettement, au point de vue de la question qui nous occupe, en deux régions, limitées très sensiblement, sinon

---

ce Tableau ont été déterminés directement. Les autres en ont été déduits au moyen de la formule précédemment démontrée.

exactement, à la radiation même à partir de laquelle le phénomène de Purkinje devient sensible ($\lambda = 0^{\mu},517$).

Dans la partie du spectre la moins réfrangible, jusqu'en ce point, les coefficients d'égale acuïté restent voisins des coefficients d'égale clarté, et le rapport $\frac{C.e.a}{C.e.c}$ ne croît que lentement lorsque la longueur d'onde diminue (¹).

Dans la partie du spectre la plus réfrangible ($\lambda < 0^{\mu},517$), le rapport des deux coefficients augmente brusquement et avec une très grande rapidité lorsque la longueur d'onde diminue. En d'autres termes, si l'on éclaire une même page imprimée successivement avec des quantités de lumière jaune et de lumière bleue *de même clarté,* il pourra se faire qu'on puisse la lire avec facilité dans le premier cas et qu'elle soit complètement illisible dans le second.

Ces mêmes inégalités entre les deux coefficients dans la moitié la plus réfrangible du spectre s'accentuent très rapidement lorsque l'intensité de l'éclairage augmente, et deviendraient énormes si l'on considérait ce qui se passe pour des degrés usuels d'éclairage (²).

XII. Nous signalerons ici quelques-unes des conséquences des faits que nous avons établis et des lois qui les régissent.

Ces faits nous semblent pouvoir expliquer, en partie tout au moins, comment il peut se faire que la dispersion par les milieux de l'œil ne nous gêne en rien pour la distinction nette des objets. Les résultats obtenus par nous peuvent en effet s'énoncer ainsi : *La distinction nette des objets est due presque exclusivement à l'éclairage produit par la moitié la moins réfrangible du spectre normal.* Or c'est pour cette moitié la moins réfrangible

---

(¹) Les irrégularités que présentent les courbes de la *fig.* 4, dans le rouge, s'expliquent par le fait que le signe employé pour les mesures d'acuïté présente une largeur de $0^{m},005$. Il y a donc incertitude au sujet de la longueur d'onde exacte à laquelle doit être rapportée chacune des mesures de coefficient d'égale acuïté, incertitude notable surtout dans les régions du spectre où la dispersion est la plus faible, c'est-à-dire dans le rouge.

(²) Nous entendons par là les intensités d'éclairage qui permettraient de lire facilement et sans fatigue, celle, par exemple, qui correspondrait à l'étalon Carcel placé à 1^{m} de distance ($O = 37,8$).

que la dispersion par les milieux réfringents transparents est la moins sensible pour une même différence de longueur d'onde.

XIII. *Conséquences relatives à la photométrie des sources colorées.* — 1° Il est bien évident que le but que l'on se propose dans l'éclairage public ou privé est moins de produire sur l'œil une sensation lumineuse plus ou moins intense que de nous faire *distinguer* les objets qui nous entourent. A égale clarté, par conséquent, la supériorité des sources jaunes (becs de gaz intensifs, lampes électriques à incandescence) sur les sources plus riches en radiations bleues (lumière de l'arc électrique) est incontestable [1]. Il n'y a donc réel avantage du côté de la lumière de l'arc électrique que dans un seul cas, celui où l'on se propose de revêtir les objets à peu près des mêmes teintes que dans la lumière du jour.

2° Devons-nous conclure de ce qui précède que, pour comparer, au point de vue de leurs valeurs pratiques, deux sources lumineuses de couleurs différentes, on doit renoncer absolument à la comparaison des ombres données par ces deux sources et s'appuyer uniquement sur le principe des acuïtés visuelles égales ?

Nous croyons qu'une pareille assertion serait trop absolue, mais nous pensons que l'emploi parallèle des deux méthodes photométriques que nous avons étudiées est absolument nécessaire.

SÉANCE DU 19 JANVIER 1883.

PRÉSIDENCE DE M. JANSSEN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Mouchez (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire national;
Fourteau, Professeur au Collège Rollin;
Vallette (l'Abbé), à Paris.

M. Maurat, trésorier, rend compte à la Société de l'état de ses finances.

---

[1] On peut objecter que la distinction des détails des objets présentant des

Une commission de trois membres, composée de MM. Angot, Duboscq et Serré-Guino, est chargée de la vérification des comptes.

MM. Macé de Lépinay et Nicati répondent à l'observation faite par M. Javal dans la séance précédente que le plan d'expériences et l'article de la *République française*, auxquels M. Javal fait allusion, n'ont trait qu'à l'étude du daltonisme, et que leurs expériences actuelles sont étrangères à cette question.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi de deux Notes de M. Delaurier :

1° *Méthode à employer pour la transmission facile de l'électricité à distance pour utiliser les forces naturelles ou pour obtenir de la chaleur, de la lumière ou des actions chimiques.*

2° *Paradoxe sur l'électricité : Expériences qui prouvent que le courant prend quelquefois le chemin le plus long, ce qui paraît indiquer qu'elle n'est pas un fluide spécial.*

M. le Secrétaire général lit un extrait d'une Note de M. Sylvanus Thompson. Dans cette Note, M. S. Thompson représente, par une construction géométrique simple, les différents cas qui peuvent se présenter dans l'application des formules généralement admises pour exprimer le travail des machines magnéto et dynamo-électriques.

M. Henri Becquerel expose à la Société les résultats de ses recherches sur les effets de la phosphorescence qui se manifestent sous l'influence des radiations infra-rouges.

Comme l'a découvert M. Ed. Becquerel, ces radiations produisent sur les corps phosphorescents le même effet qu'une élévation de température, en activant d'abord l'émission lumineuse, épuisant la lumière absorbée et amenant l'extinction.

L'image d'un spectre projeté sur une surface phosphorescente préalablement isolée apparaît d'abord lumineuse, puis dans la région rouge et infra-rouge devient obscure sur le fond lumineux de l'écran.

M. Henri Becquerel a observé que le phénomène d'extinction se produit inégalement dans les diverses régions du spectre, et que pour les diverses substances étudiées il existe des maxima et des minima d'extinction particuliers à chaque substance, et que l'on observe avec des sources lumineuses diverses.

---

traits d'un noir absolu, tel que celui dont nous avons fait usage, n'est qu'un cas particulier, limite de la distinction nette des objets. Mais il est facile de constater, par l'expérience et par la théorie (en partant du phénomène de Purkinje), que l'avantage des sources jaunes sur les sources bleues subsiste tout entier dans le cas de la distinction des objets présentant des ombres dégradées, comme, par exemple, les plis d'une draperie.

Ces effets de phosphorescence permettent d'étudier la région infra-rouge du spectre solaire, où, avec quelques précautions particulières, on distingue un grand nombre de raies, les unes larges, les autres très fines. M. Henri Becquerel présente un dessin de ces raies, au nombre de 17.

Au moyen des spectres fournis par des réseaux, il a pu déterminer la longueur d'onde de ces raies dans la région infra-rouge du premier spectre, soit en comparant leur position à celle des raies de la région visible du deuxième spectre, soit en déduisant directement la longueur d'onde de la déviation, en mesurant la distance x de chaque raie à l'image non déviée de la fente.

Les formules très simples qui donnent la longueur d'onde λ en fonction de x sont

$$\lambda = \mathrm{K}x\cos\varepsilon \quad \text{et} \quad \operatorname{tang}\varepsilon = \frac{x-\alpha}{h},$$

où K, α et h sont trois constantes que l'on détermine soit directement, soit par l'observation de trois raies de longueur d'onde connue, appartenant à la région visible du spectre solaire.

M. Pellat, à propos d'une récente Communication de M. Lippmann au sujet des *couches électriques doubles* de M. Helmholtz, fait remarquer que la présence de la couche double ne peut être considérée comme une hypothèse, mais qu'elle est une conséquence forcée des lois de Coulomb et de l'existence même de la différence de potentiel.

M. Guébhard fait remarquer qu'il est difficile d'expliquer, autrement que par une mise en activité momentanée des deux forces antagonistes dont M. Pellat signale l'existence, la formation des anneaux de Fechner par le simple contact d'un fil de plomb sur une lame de platine dans une solution de sulfate de cuivre.

M. Pellat présente ensuite à la Société un petit appareil construit, sur ses indications, par M. Ducretet, pour démontrer facilement dans les Cours de Physique élémentaire que la pression hydrostatique sur le fond d'un vase est indépendante de la forme du vase. L'appareil de Masson, employé dans ce but, est peu commode, et l'expérience, avec l'appareil de Haldat, n'est pas très visible de loin.

L'appareil présenté par M. Pellat consiste en un anneau sur lequel peuvent se visser des vases sans fond de formes différentes. Cet anneau est complètement fermé en bas par une membrane en caoutchouc qui forme un fond légèrement mobile aux vases vissés sur l'anneau. La position du centre de cette membrane varie un peu avec la valeur de la pression dydrostatique, et ces variations sont rendues très apparentes à l'aide d'un levier amplificateur.

M. Pellat fait fonctionner l'appareil pour montrer qu'il donne des résultats constants.

Extrait de la Note de M. Sylvanus Thompson,
par M. Benoit.

La construction géométrique de M. Sylvanus Thompson représente en effet, commodément, aux yeux les divers cas qui peuvent se présenter dans l'application des formules simples généralement admises dans l'étude du travail des magnéto ou dynamo-machines.

Appelons

T le travail électrique fourni par le générateur,
t le travail électrique restitué par le moteur,
C le travail électrique dépensé en chaleur dans le circuit.

On a d'abord évidemment

$$T = t + C.$$

Soient en outre

I l'intensité du courant,
E la force électromotrice directe du générateur,
e la force électromotrice inverse du moteur,
R la résistance totale du circuit.

On a les relation connues

$$I = \frac{E - e}{R} \text{ (loi de ohm)}, \quad C = I^2 R \text{ (loi de Joule)},$$
$$T = IE \text{ (loi du travail électrique)}.$$

De ces relations, on tire

$$(1) \qquad T = \frac{E(E-e)}{R}, \quad t = \frac{e(E-e)}{R}, \quad C = \frac{(E-e)^2}{R};$$

ce sont ces trois relations qu'il s'agit de représenter graphiquement. Si l'on suppose un circuit de résistance totale constante, les trois quantités T, t, C seront représentées respectivement, à une constante près, par les numérateurs de ces trois expressions.

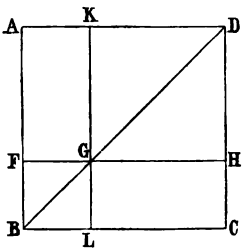
Soit AB = E. Construisons le carré ABCD et menons la diagonale BD. Prenons BF = e. Menons FH qui coupe BD en G, et

par G menons KL. On a

$$\begin{array}{lll} \text{aire AFHD} = \text{AD} \times \text{AF} = \text{E}(\text{E} - e) & \text{représentant} & \text{T}, \\ \text{aire GLCH} = \text{GL} \times \text{LC} = e(\text{E} - e) & \text{»} & t, \\ \text{aire KGHD} = \text{CD} \times \text{KG} = (\text{E} - e)^2 & \text{»} & \text{C}. \end{array}$$

Il est évident d'ailleurs que cette dernière est égale à la

Fig. 1.



différence des deux autres, car on a toujours par construction

$$\text{AFGK} = \text{GLCH}.$$

Le rendement économique

$$\text{K} = \frac{t}{\text{T}} = \frac{e}{\text{E}}$$

est représenté par le rapport $\frac{\text{GLCH}}{\text{AFHD}}$.

Discussion. — Soit d'abord $e = 0$; le point G se confond avec B. On a

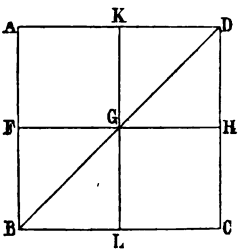
$$\begin{array}{lll} \text{T} = \text{E}^2 & \text{représenté par} & \text{l'aire totale ABCD}, \\ t = 0 & \text{»} & \text{une aire réduite à zéro}, \\ \text{C} = \text{E}^2 & \text{»} & \text{l'aire totale ABCD}. \end{array}$$

Le travail fourni par ce générateur est *maximum;* il est *en entier* transformé en chaleur dans le circuit, et l'on retombe sur la loi de Joule dans le cas d'un circuit inerte ($\text{T} = \text{I}^2\text{R}$). Le travail restitué par le moteur est *nul :* il en est de même du rendement. Ce cas est celui dans lequel la charge du frein porté par le moteur est suffisante pour l'*empêcher de tourner.*

Faisant croître e, ce qui revient à desserrer le frein et à faire marcher le moteur avec des vitesses croissantes, le point G se

déplace de B sur D; l'aire GLHC(t) croît d'abord, en partant de zéro, jusqu'à un maximum; l'aire AFHD (T) décroît. Le rectangle GLHC devient maximum, quand il devient *carré*, c'est-à-dire quand G est sur le milieu de BD. C'est ce qui résulte d'ailleurs de la formule $t = \frac{e(E - e)}{R}$. Le numérateur, étant le produit de deux facteurs dont la somme est constante, est maximum quand ces facteurs

Fig. 2.



sont égaux (on arriverait à la même conclusion par différentiation). On a, dans ce cas, $e = E - e$ ou $e = \frac{E}{2}$, $E - e = \frac{E}{2}$. Donc

$T = \frac{E^2}{2}$ représenté par l'aire AFHD,

$t = \frac{E^2}{4}$ » GLCH,

$C = \frac{E^2}{4}$ » KGHD.

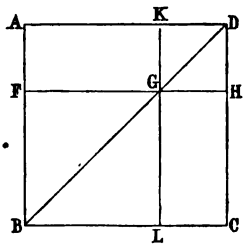
La figure, aussi bien que les formules, montre que T est *la moitié* de ce qu'il était pour $e = 0$, et que $t = C =$ la moitié de T. Le rendement $\frac{t}{T}$ est donc égal à $\frac{1}{2}$.

Si e continue à croître, t décroît et repasse par les mêmes valeurs que précédemment. Il y a donc deux valeurs du travail t qui sont égales, mais qui correspondent à des valeurs de T et par suite à des rendements différents; c'est ce que rend sensible la comparaison des *fig.* 1 et 3, dans lesquelles les aires GLCH (t) sont égales, tandis que les aires AFHD sont très différentes. On peut donc avoir *un même travail avec deux rendements très différents :* le travail est, en effet, le produit de la vitesse par l'effort tangentiel exercé sur le contenu de la poulie, et, ces deux facteurs

variant en proportion inverse (¹), leur produit peut et doit repasser par les mêmes valeurs.

A mesure que e croît, le point G se rapproche de D; les trois

Fig. 3.



aires GLCH, AFHD et KGHD tendent en même temps vers zéro, et ce rapport $\frac{\text{GLCH}}{\text{AFHD}}$ tend vers l'unité. A la limite on a, pour $e = \text{E}$,

$$\left.\begin{array}{l} \text{T} = 0 \\ t = 0 \\ \text{C} = 0 \end{array}\right\} \text{ les trois airés sont nulles en même temps.}$$

Cette limite serait atteinte quand ce moteur complètement déchargé *tourne à vide*. Le rendement deviendrait égal à 1, mais en même temps le travail serait nul.

(¹) Si on exprime le rendement en fonction de t, on trouve facilement $\left(\text{K} = \frac{t}{\text{T}}\right)$,

$$\text{K}^2 - \text{K} + t\frac{\text{R}}{\text{E}^2} = 0,$$

équation du deuxième degré qui a deux racines

$$\text{K} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - t\frac{\text{R}}{\text{E}^2}}.$$

Pour *une* valeur de t, il y a donc *deux* valeurs possibles du rendement.

Remarques au sujet des couches électriques doubles;
par M. H. Pellat.

Quand deux corps conducteurs en contact (réel ou apparent) présentent une différence de potentiel dans l'état d'équilibre électrique, en vertu des lois de Coulomb, la région de séparation doit posséder deux couches d'électricité libre de signes contraires en regard l'une de l'autre : ce sont les *couches électriques doubles* sur lesquelles M. Helmholtz a appelé l'attention des physiciens.

Supposons, pour plus de simplicité, que la surface de séparation entre les deux corps A et B soit plane. Loin de cette région de séparation dans l'intérieur de A et de B, les potentiels sont constants, mais présentent pour les deux corps des valeurs différentes V_1 et V_2. Vers la région de séparation le potentiel varie de V_1 à V_2; or, cette variation ne saurait être brusque, car il en résulterait des forces électriques infinies : elle s'opère graduellement. Dans les parties où le potentiel varie, le champ électrique n'est pas nul, et les lignes de forces, par raison de symétrie, sont des droites parallèles, perpendiculaires à la surface de séparation.

Si nous appelons x la longueur comptée sur une de ces lignes de force, la valeur du champ électrique (force agissant sur l'unité d'électricité placée au point considéré, et provenant *uniquement* de l'action de l'électricité libre conformément aux lois de Coulomb) est $-\frac{dV}{dx}$.

Or, en traversant la région de séparation, cette valeur $-\frac{dV}{dx}$, d'abord nulle, augmente graduellement en valeur absolue, puis décroît pour redevenir nulle loin de la surface de séparation dans l'autre milieu. La dérivée $\frac{d^2V}{dx^2}$ de $\frac{dV}{dx}$ n'est donc pas constamment nulle; or, en appelant ρ la densité électrique cubique en un point quelconque, on a

$$-4\pi\rho = \frac{d^2V}{dx^2},$$

puisque les deux dérivées secondes du potentiel par rapport à deux axes rectangulaires perpendiculaires à la ligne de force considérée sont nulles, les lignes de forces étant ici des droites parallèles.

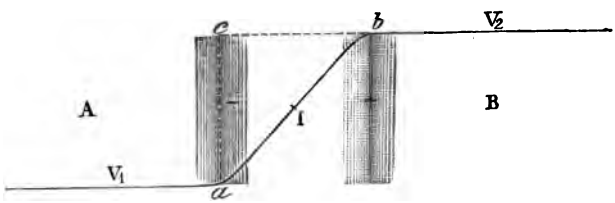
La densité électrique ρ prend donc de part et d'autre de la surface pour laquelle $\frac{dV}{dx}$ passe par un maximum des valeurs positives et négatives : il y a couche électrique double.

La construction graphique suivante rend encore mieux compte de la disposition de ces couches.

Prenons pour abscisse l'une des lignes de force, prolongée dans chacun des deux corps A et B, et portons en ordonnées les valeurs du potentiel. On obtiendra comme ligne représentative de ces valeurs deux droites parallèles à la ligne des abscisses situées dans chacun des milieux A et B à des hauteurs différentes correspondant aux potentiels constants V_1 et V_2, et, vers la surface de séparation, ces deux droites seront raccordées par une courbe qui présentera au moins un point d'inflexion I.

Dans les régions *a* et *b* où la ligne représentative est courbe, la dérivée seconde $\frac{d^2V}{dx^2}$ de l'ordonnée V n'est pas nulle, et c'est dans ces régions que se trouve l'électricité libre, la couche positive et la couche négative étant séparées par la surface correspondante au point d'inflexion I. Si l'on marche dans le sens des poten-

Fig. 1.



tiels décroissants, la couche positive est avant le point d'inflexion, la couche négative après. On voit immédiatement que ces couches sont d'autant plus condensées et d'autant plus rapprochées que la chute de potentiel est plus rapide.

Considérons un canal orthogonal de ce champ électrique ; soit σ sa section constante, puisque c'est un cylindre ; dans une longueur

dx de ce cylindre, la quantité dq d'électricité libre est donnée par

$$dq = \rho\sigma\, dx = -\frac{\sigma}{4\pi}\frac{d^2V}{dx^2}\, dx.$$

En désignant par x_1 l'abscisse correspondant au point d'inflexion et par $\left(\frac{dV}{dx}\right)_1$ la dérivée du potentiel en ce point, on a pour la quantité q d'électricité libre contenue dans la portion de l'une des deux couches doubles renfermées dans l'intérieur de ce cylindre de section σ

$$q = -\frac{\sigma}{4\pi}\int_{-\infty}^{x_1}\frac{d^2V}{dx^2}\, dx = -\frac{\sigma}{4\pi}\left(\frac{dV}{dx}\right)_1,$$

puisque $\frac{dV}{dx}$ est nul loin de la surface de séparation.

Plus la chute de potentiel est brusque, plus l'angle que fait la tangente d'inflexion avec la ligne des abscisses est voisin de l'angle droit, plus $\left(\frac{dV}{dx}\right)_1$ et, par conséquent, la quantité q d'électricité contenue dans la couche double sont voisins de l'infini. Les chutes de potentiel étant probablement très rapides, les quantités d'électricité des couches doubles doivent être énormes ([1]).

Insistons un peu sur une conséquence importante de l'existence

---

([1]) Il existe, du reste, une relation très simple entre la distance moyenne e des couches doubles et la quantité d'électricité q qu'elles renferment. C'est dans les deux régions ayant mêmes abscisses que les parties a et b où la courbe de la figure présente les plus petits rayons de courbure que la densité électrique est la plus grande; la différence des abscisses bc de a et de b est donc ce qu'on doit entendre par *distance moyenne* e des deux couches. Or on a dans le triangle à peu près rectiligne abc

$$e = be = ac \times \cot cba = (V_2 - V_1)\frac{1}{\left(\frac{dV}{dx}\right)_1},$$

et, d'après la valeur trouvée ci-dessus pour la quantité d'électricité q contenue dans un cylindre orthogonal de section σ, on a

$$eq = \frac{\sigma}{4\pi}\left(\frac{dV}{dx}\right)_1 \times (V_2 - V_1)\frac{1}{\left(\frac{dV}{dx}\right)_1} = \frac{\sigma(V_2 - V_1)}{4\pi}.$$

La valeur de eq ne dépend ainsi que de la différence de potentiel, comme pour un condensateur ordinaire à lame isolante bien mince.

d'une différence de potentiel entre deux conducteurs au contact et en équilibre électrique. Malgré la force électrique $\left(\frac{dV}{dx}\right)$ agissant dans la région de séparation, l'équilibre existe. Il faut nécessairement qu'une force antagoniste agisse aussi sur l'électricité de cette région pour maintenir l'équilibre, et cette force doit provenir de causes autres que l'action de l'électricité libre, puisque c'est celle-ci qui produit la force $\left(\frac{dV}{dx}\right)$ [1].

Volta, sentant la nécessité de l'existence de cette force antagoniste, l'attribua à l'action de la matière sur l'électricité, cette action pouvant différer en grandeur suivant la nature de la matière.

On peut considérer comme un fait d'expérience que la valeur du champ électrique est nulle dans l'intérieur d'un conducteur homogène en équilibre, à moins qu'on ne soit à une distance de sa surface si faible qu'elle n'a pu encore être appréciée. Il faut en conclure, dans l'hypothèse de Volta, que le rayon de la sphère d'activité de la matière sur l'électricité est extrêmement petit. Mais, dans le voisinage immédiat de la surface de séparation de deux substances dissemblables, la résultante des actions des deux matières différentes sur l'électricité qui s'y trouve peut ne pas être nulle, et peut nécessiter, pour l'équilibre, une distribution électrique telle que la force électrique $\left(\frac{dV}{dn}\right)$ qui en résulte lui soit égale en valeur absolue et ait une direction diamétralement opposée.

Cette hypothèse si naturelle de Volta explique ainsi parfaitement la possibilité d'une différence de potentiel et la présence de la couche double, qui en est inséparable, au contact de deux substances conductrices.

On remarquera que, plus le rayon de la sphère d'activité de la matière sur l'électricité sera faible, plus la chute de potentiel entre les deux corps sera rapide, plus les deux couches d'électricité seront puissantes, mais moins elles seront épaisses et plus elles seront rapprochées.

M. Helmholtz a admis et développé l'hypothèse de Volta. M. Clausius en a reconnu aussi la probabilité, quoique le physi-

---

[1] Voir *Journal de Physique*, 1re série, t. IX, p. 122 : *Du phénomène de Peltier*.

cien de Bonn croie nécessaire, pour l'explication du phénomène de Peltier, qu'une fraction (en tout cas minime) de la force électrique soit équilibrée par la chaleur.

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1883.

PRÉSIDENCE DE M. JANSSEN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Chappuis (Pierre), attaché au Bureau international des Poids et Mesures.
Colson, ancien Élève de l'École Polytechnique, à Paris.
Ferro Cardoso (Daniel-Pedro), Ingénieur à Paris.
Deslandes, ancien élève de l'École Polytechnique, à Paris.
Dini, ingénieur de la maison Dumoulin-Froment.
Lapointe (Georges), ingénieur constructeur, à Paris.
Maria Meysenheim (Louis), chef de section des chemins de fer au Ministère des Travaux publics.
Molz, directeur de la fonderie de M. Molz, à Paris.

M. Léopold Hugo adresse à la Société une Note ayant pour titre : *Sur la représentation des lois à trois variables.*

M. Sire (de Besançon) rappelle, à propos de la modification à l'appareil de Haldat, présenté, dans la séance précédente, par M. Pellat, qu'il a donné, dans les *Annales de Chimie et de Physique,* 5e série, t. X, p. 568, la description d'un appareil très simple permettant de vérifier le principe d'hydrostatique en question, dans toute sa généralité, par une expérience visible pour un grand nombre de spectateurs.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Note de MM. Ch. Cros et A. Vergeraud, sur un procédé photographique qui permet d'obtenir immédiatement sur papier une épreuve positive d'un tracé ou dessin quelconque. Le procédé est fondé : 1° sur la facile réduction des bichromates solubles mêlés à certaines matières organiques; 2° l'insolubilité relative du bichromate d'argent. Quelques épreuves obtenues par ce procédé sont mises sous les yeux de la Société.

M. Gernez expose à la Société ses recherches sur la durée de solidification des corps surfondus.

Ses premières études ont porté sur le phosphore. Ce corps est introduit à l'état liquide dans un tube fin courbé en U, ayant plus d'un mètre de lon-

gueur. Le tube est placé dans un bain dont on abaisse la température au-dessous du point de fusion du phosphore (44°,2). La solidification est alors provoquée par le contact de l'extrémité d'une colonne solide de ce corps, contenue dans un tube capillaire qu'on introduit dans le premier tube. Au moment du contact la solidification commence, et l'observateur appuie sur le bouton d'une clef de Morse : un courant électrique est fermé, et il se produit une trace sur un cylindre tournant, sur lequel s'inscrivent en même temps les vibrations d'un diapason ; au moment où la solidification atteint l'extrémité opposée du tube, l'observateur cesse d'appuyer sur la clef de Morse et la trace s'interrompt. On a ainsi la durée du phénomène.

M. Gernez a trouvé les résultats suivants :

1° Le diamètre du tube est sans influence sur la durée de solidification dès que ce diamètre est inférieur à 2^{mm}. M. Gernez, dans ses expériences ultérieures, n'a employé que des tubes satisfaisant à cette condition.

2° La vitesse de solidification est constante pendant toute la durée du phénomène.

3° Quelles que soient les conditions initiales, la durée de solidification est toujours la même pour la même température de surfusion. Ainsi du phosphore préalablement porté à 50°, à 100° ou même à 170°, malgré les modifications allotropiques qui se produisent à cette dernière température, présente la même durée de solidification.

4° La vitesse de solidification s'accroît à mesure que la température où le corps est amené à l'état de surfusion est plus basse. Elle est de $1^{mm},16$ par seconde à la température de 43°,8 ; de $56^{mm},9$ à 41°,4 ; de $623^{mm},9$ à 29° ; elle dépasse 1^{m} par seconde vers 24°.

Le soufre a fourni des résultats intéressants :

1° La durée de solidification n'est pas indépendante de la température à laquelle a été porté le soufre fondu.

2° Elle est toute différente suivant qu'on détermine la solidification du soufre surfondu par un cristal octaédrique (ce qui donne des octaèdres) ou par un cristal prismatique (ce qui donne des prismes). Pour ce dernier cas, la vitesse de solidification est, pour la même température, environ 30 fois plus grande.

Dans le cours de ses expériences, M. Gernez a découvert une troisième variété de soufre cristallisé. Ces cristaux sont des prismes, mais qui ne sont pas identiques à ceux de la forme dite *prismatique*. Cette variété provoque une solidification dont la vitesse n'est que 5 fois supérieure à celle du soufre octaédrique ; par conséquent elle n'est que le $\frac{1}{6}$ de celle de la variété connue de soufre prismatique.

Découverte accidentellement, cette nouvelle variété peut être obtenue régulièrement : on prend du soufre qui a été porté vers 170°, puis on l'amène à l'état de surfusion entre 90° et 100° ; en frottant alors le fond du tube contenant le soufre avec une tige de fer dépolie à une extrémité, les cristaux de la nouvelle variété se forment et se développent au sein du liquide.

Enfin, M. Gernez a constaté que le soufre octaédrique et le soufre prismatique fondus, puis amenés à l'état de surfusion, possèdent, dans les mêmes circonstances, des durées de solidification différentes : toute distinction entre les deux variétés allotropiques ne disparaît donc pas par suite de la fusion.

M. Picou présente quelques remarques générales au sujet de la sensibilité des instruments de mesure.

Il divise ceux-ci en deux groupes :

1° Ceux qui servent seulement à constater l'existence d'un phénomène et son sens. Tel est un galvanomètre employé dans un pont de Wheatstone, puisqu'il sert uniquement à indiquer l'existence et le sens du courant traversant le pont; telle est la balance. — M. Picou donne à ceux-ci le nom d'*instruments de recherches*.

2° Les instruments qui servent à mesurer la grandeur du phénomène : par exemple une boussole des tangentes, un thermomètre, un baromètre. — M. Picou réserve à ceux-ci le nom d'*instruments de mesure*.

Pour ces deux groupes d'instruments, la grandeur du phénomène y est une fonction de la lecture x, et l'on peut, en désignant par k une constante, poser

$$y = \frac{1}{k} f(x).$$

Pour les instruments du premier groupe, à une variation dy de la grandeur correspond une variation dx de la lecture, et la sensibilité s de l'instrument est d'autant plus grande que $\frac{dx}{dy}$ est plus considérable; on peut donc poser

$$s = \frac{dx}{dy} = k \frac{1}{f'(x)}$$

et, comme on part de la valeur $x = 0$,

$$s = k \frac{1}{f'(0)};$$

la sensibilité est proportionnelle à k et inversement proportionnelle à $f'(0)$.

Pour les instruments du second groupe, M. Picou fait remarquer que ce qu'il importe de considérer est, non la valeur absolue de la variation dy de la grandeur du phénomène, mais la variation relative $\frac{dy}{y}$ de cette grandeur : la sensibilité sera donc définie par

$$s = \frac{dx}{\left(\frac{dy}{y}\right)} = \frac{y}{\left(\frac{dy}{dx}\right)} = \frac{y}{y'_x}$$

Ainsi, dans la boussole des tangentes, pour laquelle on a $s = \frac{1}{k} \operatorname{tang} \alpha$,

on obtient le résultat bien connu,

$$s = \frac{\frac{1}{k}\,\text{tang}\,\alpha}{\frac{1}{k}\,\frac{1}{\cos^2\alpha}} = \frac{1}{2}\sin 2\alpha,$$

c'est-à dire que la sensibilité est maximum pour $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

Papier positif direct pour la photographie; par MM. Ch. Cros et Aug. Vergeraud.

Le papier photographique ordinaire imprégné d'un sel d'argent donne, ainsi que d'autres papiers analogues, la reproduction renversée d'une image à fond transparent, c'est-à-dire que les foncés de l'image se traduisent en clairs et les clairs en foncés. Or on a fréquemment besoin, dans les sciences, d'obtenir le plus simplement possible la reproduction directe d'un tracé, d'un réseau, etc.

Il nous a paru intéressant d'obtenir immédiatement cette représentation par l'action de la lumière.

A cet effet nous avons mis à profit : 1° la facile réduction des bichromates solubles mêlés à certaines matières organiques; 2° l'insolubilité relative du bichromate d'argent.

Prenant donc un papier convenable, on le recouvre d'une solution de 2^{gr} de bichromate d'ammoniaque, 15^{gr} de glucose pour 100^{gr} d'eau, on fait sécher, puis on l'expose à la lumière sous un positif.

Lorsque les parties découvertes du papier, franchement jaunes d'abord, sont devenues grises, on cesse la pose et l'on immerge rapidement dans un bain d'argent (1^{gr} pour 100 d'eau additionnée de 10^{gr} d'acide acétique). L'image apparaît immédiatement, en teinte sanguine, constituée par du bichromate d'argent. En effet, partout où la lumière agit, le bichromate a été réduit par le glucose; partout où les opacités variables de l'image modèle ont protégé, à divers degrés, la couche sensible, le bichromate d'argent se forme insoluble dans l'eau du lavage subséquent. Si l'on sèche au feu, l'image reste rouge, si l'on sèche en plein air et à la lumière, surtout au soleil, elle devient brun foncé. Pour obtenir l'image

noire, il suffit de soumettre les épreuves sèches au gaz acide sulfhydrique. Un bain de sulfite de cuivre et de potasse en dissolution donne un noir encore plus intense.

Recherches sur la durée de la solidification des corps surfondus; par M. D. Gernez.

On sait que la plupart des corps peuvent être conservés liquides a une température bien inférieure à leur point de fusion, et j'ai montré antérieurement qu'ils restent en cet état, entre certaines limites de température, jusqu'à ce qu'on exerce à leur intérieur une action mécanique ou jusqu'à ce qu'on les touche avec une parcelle solide identique au corps solidifié ou isomorphe de ce corps. Les circonstances de cette solidification subite n'ont pas été déterminées jusqu'ici; j'ai cherché à en préciser quelques-unes et je vais indiquer les principaux résultats de cette étude expérimentale, en me bornant aux faits relatifs au phosphore surfondu.

Je rappellerai d'abord que la solidification d'un corps surfondu est accompagnée du dégagement de la chaleur de fusion, qui a pour effet d'élever la température des couches voisines de celle qui se solidifie; la rapidité avec laquelle se propage cette solidification dépend de cette chaleur de fusion et de la chaleur spécifique du corps; si donc on veut la déterminer avec précision, il faudra, autant que possible, se rapprocher du cas idéal où l'on aurait un filet liquide infiniment mince : on y arrive d'une manière satisfaisante en introduisant le liquide dans des tubes cylindriques très étroits. Des expériences, dont on trouvera le détail ailleurs, m'ont prouvé que, dans des tubes dont le diamètre ne dépasse pas $2^{mm},7$, cette influence est négligeable, mais qu'il n'en est plus de même dans des tubes plus larges, où la durée de la solidification augmente avec le diamètre du tube. Je me suis servi de tubes de verre d'un diamètre compris entre $1^{mm},4$ et $2^{mm},7$ et dont l'épaisseur, aussi faible que possible, ne dépassait pas $0^{mm},2$: le liquide qu'ils contenaient se mettait ainsi rapidement en équilibre de température avec le milieu ambiant. Je leur ai donné la forme d'U, afin d'avoir dans le voisinage l'une de l'autre les deux extrémités de la colonne

liquide et j'y ai introduit du phosphore pur sur une longueur de $0^m,60$ à $0^m,70$, à l'aide d'une sorte d'entonnoir dont la douille était ajustée à l'une des extrémités du tube et dans lequel l'écoulement du phosphore était réglé par la manœuvre d'une tige de verre faisant fonction de soupape conique au fond de l'entonnoir; on laissait à la surface du phosphore une couche d'eau qui le préservait du contact de l'air.

Les tubes étaient plongés de 25 à 30 minutes dans un bain à température déterminée, supérieure au point de fusion; on les retirait ensuite pour les introduire dans un bain d'eau agitée par un rapide courant d'air et maintenue à une température constante, inférieure au point de fusion. Après un séjour dans ce bain, prolongé souvent plus d'une heure, on provoquait la solidification du liquide en touchant sa surface avec l'extrémité d'un tube capillaire d'où sortait une sorte de fil de phosphore solide, et, au moment précis du contact, on poussait le bouton d'un chronomètre à pointage. La solidification se propageait rapidement dans toute la longueur de la colonne, et l'on pouvait en suivre la marche, car le liquide, qui était très limpide, devenait trouble et presque opaque en se solidifiant; on arrêtait l'aiguille du compteur au moment où l'opacité atteignait la seconde surface libre. On pouvait ainsi se servir du chronomètre quand on solidifiait le phosphore refroidi de 3° ou 4° seulement au-dessous de sa température de fusion; mais, pour des températures plus basses, ce procédé de mesure était insuffisant, la durée de la solidification du phosphore à 39° n'étant que de $6^s,26$ et seulement de $1^s,59$ à 33° pour une colonne liquide de 1^m de longueur. J'ai fait construire pour cette mesure un chronographe enregistreur à diapason qui m'a donné des résultats très précis et très concordants pour des tubes différents employés à diverses époques.

1° J'ai reconnu d'abord que, dans le même tube, la durée de la solidification est la même pour des longueurs égales de la colonne liquide : la marche du phénomène est donc uniforme et l'on peut appeler *vitesse de solidification* la longueur de la colonne solidifiée pendant l'unité de temps, une seconde s'il s'agit du phosphore.

2° On peut se proposer de rechercher si, dans des tubes très étroits, cette vitesse varie avec la température à laquelle le phos-

phore a été porté avant d'être introduit dans le bain où on le maintient en surfusion, ou si elle a une valeur indépendante de cette température. Il n'est pas évident *a priori* que la transformation isomérique, que commence à éprouver le phosphore chauffé même au-dessous de 200° et qui fait qu'il présente des reflets opalins, ne modifie pas les constantes calorifiques du mélange au point d'amener un changement dans la vitesse de solidification de ce corps. L'expérience m'a montré que ces modifications n'ont pas d'influence sensible sur le phénomène. Le phosphore fondu aux températures voisines du point de fusion ou chauffé à 100°, 140°, 200° et même 215° présente les mêmes vitesses de solidification aux mêmes températures.

J'ajouterai que cette vitesse reste constante quel que soit le nombre d'opérations antérieures qu'on ait réalisées avec le même corps et quelle que soit la durée de chacune d'elles.

3° Pour ce qui est de l'influence de la température du phosphore surfondu sur la vitesse de solidification, elle ressort de séries d'expériences que j'ai faites à diverses températures comprises entre 43°,8 et 24°,9 et dont je transcris ici seulement quelques nombres pour donner une idée de la marche du phénomène. Ils sont rapportés à une colonne de phosphore mesurée à la température de fusion 44°,2.

Températures.....	43°,8	43°,55	42°,9	42°,1
Vitesses de solidification..	$1^{mm},6$	$2^{mm},63$	$8^{mm},78$	$24^{mm},1$
Températures.....	41°,4	40°,6	39°,0	38°,0
Vitesses de solidification..	$56^{mm},9$	$88^{mm},3$	$159^{mm},7$	$243^{mm},1$
Températures.....	37°,3	36°,0	34°,2	33°,0
Vitesses de solidification..	$289^{mm},85$	$353^{mm},35$	$538^{mm},9$	$628^{mm},9$
Températures.....	31°,2	29°,0	27°,4	24°,9
Vitesses de solidification..	$675^{mm},7$	$800^{mm},0$	$952^{mm},4$	$1030^{mm},7$

La courbe que l'on construirait sur ces nombres, en prenant pour abscisses les températures et pour ordonnées les vitesses de solidification, aurait pour asymptotes l'axe des températures et l'ordonnée correspondant à la température de 44°,2. Ce résultat pouvait évidemment être prévu. J'appellerai seulement l'attention sur la valeur absolue de la vitesse de solidification qui, à 10° au-

dessous du point de fusion, est déjà de $531^{mm},9$ et, à $19^{\circ},3$ au-dessous de ce point, dépasse 1^{m} par seconde

Dans une prochaine Communication, je ferai connaître les expériences que j'ai réalisées sur le soufre. Je montrerai : 1° que la durée de la solidification n'est pas indépendante de la température à laquelle a été porté le soufre fondu, ni de la durée de l'opération; 2° qu'il y a lieu de considérer la solidification du soufre surfondu que provoque un cristal octaèdrique lequel donne des octaèdres dont la vitesse d'accroissement est relativement très faible et celle que détermine le contact d'un cristal prismatique et qui, toutes choses égales d'ailleurs, est beaucoup plus grande.

Je montrerai comment l'étude de ce phénomène m'a conduit à la découverte d'une troisième variété de soufre cristallisé qui est susceptible comme les prismes connus de se dévitrifier à la température ordinaire. Lorsqu'on la fait se développer dans le même liquide que les prismes, elle donne des cristaux qui s'allongent bien plus lentement quoique leur vitesse de solidification soit encore un certain nombre de fois plus grande que celle des octaèdres.

J'indiquerai aussi le parti que l'on peut tirer de ces mesures pour mettre en évidence des changements isonériques qui se produisent sous des influences diverses et que les procédés ordinaires ne permettent pas toujours de caractériser.

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bergonié, maître de Conférence de physique à la Faculté de médecine de Bordeaux.

Bernard (Alfred), Professeur au Lycée de Périgueux;

Didier, Agrégé-Préparateur à l'École Normale supérieure;

Gossart, Professeur au Lycée de Chambéry;

Le Dolley, Contrôleur des Télégraphes, à Lyon.

M. E. Dulaurier adresse à la Société un Mémoire sur une *Pile régénérable.*

M. Bertin expose la théorie des franges produites par les cristaux à un axe dans la lumière polarisée convergente.

M. Bertin établit l'équation de ces franges dans le cas général où l'axe fait un angle quelconque α avec la normale aux faces. Les franges sont des sections coniques, mais qui, en général, ont leur centre en dehors du champ. Elles correspondent à une grande différence de marche entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire, dès que l'angle α est notablement différent de zéro, et, par conséquent, ne sont pas visibles dans la lumière blanche : il faut employer une source lumineuse monochromatique pour les apercevoir.

Pour tang $\alpha = \sqrt{2}$, c'est-à-dire pour $\alpha = 54^\circ 50'$, les franges sont des paraboles. Pour tang $\alpha < \sqrt{2}$, ($\alpha < 54^\circ 50'$), les franges sont des arcs d'ellipse, mais qui ressemblent beaucoup à des arcs de cercle. Pour tang $\alpha > \sqrt{2}$, ($\alpha > 54^\circ 50'$), les franges sont des arcs d'hyperboles. Enfin pour $\alpha = 90^\circ$ ce sont des hyperboles équilatères conjuguées dont le centre se trouve au milieu du champ.

M. Bertin examine ensuite le cas de deux cristaux superposés, ces cristaux étant de même nature et les axes faisant le même angle α avec la normale aux faces.

Si les cristaux ont leur section principale à angle droit, le rayon ordinaire dans le premier cristal devient extraordinaire; dans le second, la différence de marche est nulle suivant les normales.

Aussi les franges sont-elles visibles dans la lumière blanche. Ce sont des hyperboles équilatères conjuguées. Pour $\alpha = 90^\circ$, leur centre est au milieu du champ; mais pour des valeurs de α notablement différentes de 90°, il est en dehors; l'asymptote faisant toujours un angle de 45° avec les axes et passant par le milieu du champ, une frange rectiligne incolore apparaît alors suivant cette direction, et les franges colorées ressemblent à des droites parallèles. C'est le cas du polariscope de Savart, pour lequel $\alpha = 45^\circ$.

Si ces cristaux ont leur section principale à 180°, c'est-à-dire si les plans passant par la normale et par l'axe se confondent, sans que les axes soient parallèles, la différence de marche n'est pas nulle suivant la normale; aussi le phénomène n'est-il visible que dans la lumière monochromatiqne.

Les franges sont des sections coniques ayant leur centre au milieu du champ. Pour tang $\alpha = \sqrt{2}$, ce sont des droites parallèles aux sections principales confondues; pour tang $\alpha < \sqrt{2}$, ce sont des ellipses; pour tang $\alpha > \sqrt{2}$, ce sont des hyperboles conjuguées non équilatères (sauf dans le cas limite $\alpha = 90^\circ$).

M. Bertin et M. Ducretet ont cherché à obtenir une lumière monochromatique assez intense pour pouvoir projeter les franges à grande différence de marche. Voici le procédé auquel ils se sont arrêtés. Le dard d'un chalumeau à gaz oxyhydrique est projeté sur un bâton de charbon de cornue.

Celui-ci est creusé d'une gouttière horizontale dans laquelle on introduit une tige de verre, la gouttière est échancrée au milieu, de façon que le dard du chalumeau frappe directement le verre. On obtient ainsi une lumière jaune assez intense.

MM. Bertin et Ducretet projettent devant la Société les franges produites par deux quartz de même épaisseur superposés, dont les sections principales font un angle de 180°: 1° dans le cas des ellipses ($\alpha < 54° 50'$), 2° dans le cas des droites ($\alpha = 55° 50'$), 3° dans le cas des hyperboles conjuguées ($\alpha > 54° 50'$).

M. James Moser expose la *Méthode générale pour renforcer les courants téléphoniques,* dont il a communiqué le principe dans la séance du 5 janvier. Il met sous les yeux de la Société les appareils, c'est-à-dire la batterie d'appareils téléphoniques qui ont servi à Paris pour les auditions multiples à fil unique et en France pour la transmission à grande distance sur les lignes de l'État. Pour faire une expérience, dans la séance, il envoie le courant renforcé dans un récepteur, parlant haut; ce téléphone est le téléphone Bell modifié par M. Goloubitzky.

Note sur les franges des lames cristallisées uniaxes et sur leur projection dans la lumière monochromatique; par M. A. Bertin.

Parmi les franges que présentent les lames cristallisées quand on les observe dans les appareils de polarisation à lumière convergente, tels que la pince à tourmalines et le microscope polarisant, il en est quelques-unes qu'on néglige habituellement, parce que leur calcul est trop compliqué et parce qu'on ne peut pas les observer dans la lumière ordinaire : ce sont les franges des lames obliques à l'axe. Je voudrais montrer que le calcul de ces franges peut se simplifier assez pour permettre de l'introduire dans l'enseignement et qu'on peut facilement non seulement les observer, mais encore les projeter à la lumière monochromatique. Je me bornerai au seul cas des cristaux à un axe [1].

---

[1] Ce problème a été traité, pour la première fois, par Langberg, de Christiania (*Annales de Poggendorf,* Ergänzungsband, 1842, p. 529-565). — Ohm l'a encore traité en 1853, dans un long Mémoire (208 pages) inséré au tome VII de l'Académie de Munich.

I. — Calcul général des franges.

La frange ou la courbe isochromatique est le lieu des points où chaque couple de rayons de même direction vient rencontrer la seconde face du cristal avec un retard constant. L'effet sera maximum lorsque, les tourmalines étant croisées et la section principale de la lame à 45°, ce retard sera un nombre entier de longueur d'onde; de sorte qu'en appelant δ ce retard, λ la longueur d'onde et k un nombre entier, on aura d'abord cette première relation

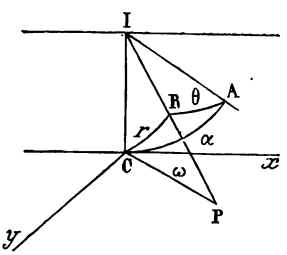
$$\delta = k\lambda.$$

Si l'on appelle e l'épaisseur de la lame, r l'angle du rayon double avec la normale, et par suite $\frac{e}{\cos r}$ le chemin parcouru par les deux rayons ordinaire et extraordinaire avec des indices différents, le retard sera égal à ce chemin multiplié par la différence des indices ou par $(n' - n)\sin^2\theta$, en appelant n' et n les deux indices principaux, et θ l'angle de la direction commune aux deux rayons avec l'axe du cristal, de façon qu'on aura, pour la différence de marche,

$$\delta = \frac{(n' - n)e\sin^2\theta}{\cos r}. \tag{1}$$

Considérons l'angle trièdre qui aurait pour arêtes : la normale à la lame IC, la direction de l'axe optique IA faisant avec la normale l'angle AIC $= \alpha$, la direction du couple de rayons IR faisant

Fig. 1.



avec la normale l'angle RIC $= r$ et avec l'axe l'angle RIA $= \theta$. Appelons ω l'angle de la section principale de la lame ICA avec le

plan de réfraction ICR; la première équation de la trigonométrie sphérique nous donnera

$$(2) \qquad \cos\theta = \cos\alpha\cos r + \sin\alpha\sin r\cos\omega.$$

L'élimination de θ entre (1) et (2) conduit à l'équation de la frange. En se bornant au cas où l'angle r est petit comme dans la pince à tourmalines, on peut négliger les puissances de $\sin r$ supérieures à la seconde, et alors, si l'on représente par p la différence de marche des deux rayons normaux à la lame, en posant

$$(3) \qquad p = (n' - n)e\sin^2\alpha,$$

l'élimination conduit à l'équation finale

$$(4) \qquad \left\{\begin{array}{l} (\cos^2\alpha + \frac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r \\ \quad - \sin^2\alpha\cos^2\omega\sin^2 r - \sin 2\alpha\cos\omega\sin r = \left(\frac{\delta}{p} - 1\right)\sin^2\alpha. \end{array}\right.$$

Prolongeons le double rayon IR jusqu'à la seconde face de la lame en P, et joignons le point P au point C, puis marquons en Cx la trace de la section principale sur cette seconde face, nous voyons d'abord que l'angle PCx est l'angle variable ω; le rayon vecteur $\rho = \mathrm{PC} = \mathrm{IC}\tang r = e\sin r$, puisque nous négligeons $\sin^3 r$. L'équation est une relation entre ω et ρ, c'est donc l'équation polaire de la frange.

Si on veut l'avoir en coordonnées rectilignes, on prendra pour origine des coordonnées le centre du champ optique ou le pied C de la normale à la lame, pour axe des x la trace Cx de la section principale sur la seconde face du cristal, en comptant les x positifs du côté où cette ligne est rencontrée par l'axe optique CA du cristal, et enfin pour axe des y une ligne perpendiculaire à Cx, et l'on remplacera dans l'équation $\sin^2 r$ par $\frac{x^2+y^2}{e^2}$ et $\cos\omega\sin r$ par x. On aura alors

$$(5) \qquad \left\{\begin{array}{l} (\cos^2\alpha + \frac{1}{2}\sin^2\alpha)y^2 \\ \quad + (\cos^2\alpha - \frac{1}{2}\sin^2\alpha)x^2 - \sin 2\alpha e x = \left(\frac{\delta}{p} - 1\right)e^2\sin^2\alpha. \end{array}\right.$$

Telle est l'équation de la petite courbe isochromatique qui est sur la seconde face du cristal et qui produit la frange visible par sa projection conique sur le tableau.

Si l'œil est placé en I sur la première face du cristal, il verra la frange sur un plan idéal situé à la distance de la vision distincte D; sur ce plan le rayon vecteur $\rho = e \sin r$ se projettera suivant un rayon vecteur plus grand $R = D \sin i = \rho \frac{nD}{e}$. Les nouvelles coordonnées X et Y de la frange projetée s'obtiendront donc par substitution en tenant compte des relations $\frac{X}{x} = \frac{Y}{y} = \frac{nD}{e}$, ce qui donnera

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} (\cos^2\alpha + \frac{1}{2}\sin^2\alpha)\,Y^2 \\ \quad + (\cos^2\alpha - \frac{1}{2}\sin^2\alpha)\,X^2 - \sin 2\alpha\, n D e = \left(\frac{\delta}{p} - 1\right) n^2 D^2 \sin^2\alpha. \end{array} \right.$$

Si la frange doit être, non pas vue directement, mais projetée sur un tableau à la distance D, on concentrera la lumière polarisée incidente en un cône dont le sommet sera en I; il en résultera à l'intérieur un cône de lumière réfractée, puis à la sortie un cône de lumière émergente qui projettera la frange dans la même proportion que précédemment.

L'équation (6) se déduisant facilement de la précédente (5), nous la laisserons de côté pour nous borner à étudier cette dernière.

II. — Discussion. — Lames simples.

Notre équation représente des courbes du second degré : cela devait être, puisque nous avons négligé les puissances du rayon vecteur supérieures à la seconde. Cette approximation était suffisante, car l'observation montre que toutes les franges des lames uniaxes ressemblent à des sections coniques. Ces courbes ont un centre commun, généralement en dehors du centre du champ, mais toujours sur l'axe des x. Le coefficient de x^2 peut-être positif, négatif ou nul, ce qui caractérise trois espèces de courbes.

Il est nul lorsque $\tang \alpha = \sqrt{2}$, ou pour $\alpha = 54°44'$: la courbe représente alors des paraboles : elle donnera des ellipses si α est plus petit, et des hyperboles si α est plus grand.

1° $\alpha < 54°44'$. — *Franges elliptiques.* — Le centre des ellipses est toujours du côté des x positifs. Il est, en général, en dehors du champ de la vision, qui se trouve rempli par des arcs d'ellipse, dont la concavité est tournée vers les x positifs ou vers le point où

l'axe des x est coupé par l'axe optique. On les prendra pour des arcs de cercles.

Si, par exemple, $\alpha = 45°$, l'équation devient

$$x^2 + 3y^2 - 4ex = 2e^2\left(\frac{\delta}{p} - 1\right)$$

avec

$$p = \tfrac{1}{2}(n' - n)e.$$

Le centre est à une distance $x = +2e$, et les courbes rapportées à leur centre deviennent

$$x^2 + 3y^2 = 2e^2\left(\frac{\delta}{p} + 1\right).$$

Le cas limite de ces franges elliptiques est celui des lames perpendiculaires à l'axe, pour lesquelles $\alpha = 0$; on a alors

$$x^2 + y^2 = \frac{e}{n' - n}\delta$$

ou

$$X^2 + Y^2 = \frac{n^2 D}{n' - n}\frac{\delta}{e},$$

formules connues des anneaux du spath. Ces anneaux prennent dans la lumière jaune un aspect extraordinaire à cause de leur grand nombre.

2° $\alpha = 54°44'$. — *Franges paraboliques.* — L'équation se réduit alors à celle-ci

$$y^2 - e\sqrt{2}.x = \left(\frac{\delta}{p} - 1\right)e^2$$

avec

$$p = \tfrac{2}{3}(n' - n)e.$$

Elle représente un groupe de paraboles identiques, dont le sommet se déplace sur l'axe des x d'une quantité constante. Les arcs de ces courbes qui apparaissent dans le champ sont encore tournés vers les x positifs et ressemblent encore à des arcs de cercle.

3° $\alpha > 54°44'$. — *Franges hyperboliques.* — Si le coefficient de x^2 est négatif, l'équation représente un système d'hyperboles, centrées sur un même point qui est toujours sur l'axe des x,

mais du côté des x négatifs. Les courbes visibles dans le champ ont encore leur concavité tournée vers les x positifs, mais elles prennent un caractère hyperbolique très prononcé; on ne peut plus les prendre pour des arcs de cercle.

Prenons pour exemple une lame taillée sous l'inclinaison de 60°; pour $\alpha = 60$, l'équation devient

$$5y^2 - x^2 - 4\sqrt{3}ex = 6e^2\left(\frac{\delta}{p} - 1\right)$$

avec

$$p = \tfrac{3}{4}(n' - n)e.$$

Ce sont des hyperboles centrées sur un point qui est sur l'axe des x à une distance $x = -2e\sqrt{3}$.

Le cas limite des franges hyperboliques est celui qui correspond à $\alpha = 90$; l'équation devient alors

$$y^2 - x^2 = 2e^2\left(\frac{\delta}{p} - 1\right)$$

avec

$$p = (n' - n)e.$$

On voit que les lames parallèles à l'axe donnent deux groupes d'hyperboles équilatères conjuguées.

Celles qui ont leurs sommets sur l'axe des x sont d'un ordre inférieur $\delta < p$; celles qui ont leurs sommets sur l'axe des y sont d'un ordre supérieur $\delta > p$: la frange centrale, $y = x$, est l'asymptote et correspond à $\delta = p$.

Lames combinées. — On peut avoir encore des franges curieuses en superposant les lames : nous supposerons qu'elles ont la même épaisseur et nous ne considérerons que deux cas, suivant que leurs sections principales seront parallèles ou croisées.

III. — Lames superposées, sections principales croisées.

Dans ce cas le rayon, qui est ordinaire dans la première lame, devient extraordinaire dans la seconde et les retards se retranchent. Si on les désigne par δ et δ' dans chaque lame isolée, et par δ_1 dans le système, on aura d'abord la relation

$$\delta_1 = \delta - \delta'.$$

Le retard δ est donné par l'équation (4)

$$\left(\frac{\delta}{p} - 1\right)\sin^2\alpha = (\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r$$
$$- \sin^2\alpha\sin^2\omega\sin^2 r - \sin 2\alpha\sin\omega\sin r;$$

Le retard δ' communiqué par la seconde lame, dont la section principale a tourné de 90°, s'obtiendra en comptant l'angle ω avec cette seconde direction, c'est-à-dire en remplaçant dans la formule l'angle ω par son complément, ce qui donnera

$$\left(\frac{\delta'}{p} - 1\right)\sin^2\alpha = (\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r$$
$$- \sin^2\alpha\cos^2\omega\sin^2 r - \sin 2\alpha\cos\omega\sin r,$$

d'où, en retranchant,

$$\frac{\delta_1}{p}\sin^2\alpha = \sin^2\alpha(\sin^2\omega\sin^2 r - \cos^2\omega\sin^2 r) + \sin 2\alpha(\sin\omega\sin r - \cos\omega\sin r).$$

En passant aux coordonnées rectilignes et remarquant que le rayon vecteur est ici $2e\sin r$, on trouve

$$4e^2\sin^2\alpha\,\frac{\delta_1}{p} = \sin^2\alpha(y^2 - x^2) + \sin 2\alpha.2e(y - x).$$

Cette équation représente un groupe d'hyperboles centrées, équilatères et conjuguées, puisque le retard δ_1 peut être positif et négatif. Le centre de ces courbes a pour coordonnées

$$x = y = -2e\cot\alpha;$$

l'une des asymptotes est la bissectrice de l'angle des parties positives des sections principales. Le retard pouvant être nul, les franges sont d'un ordre peu élevé et peuvent se voir à la lumière blanche. Quand $\alpha = 45°$, on a les quartz obliques du polariscope de Savart.

Si donc, dans une pince à tourmalines croisées, on place deux cristaux obliques croisés, les axes à 45° des tourmalines, on verra des queues d'hyperboles autour d'une ligne noire, qui est une asymptote et l'axe de la tourmaline bissectrice de l'angle des parties positives des sections principales. Le centre de ces courbes est sur cette ligne dans l'angle formé par les parties négatives des axes. C'est de ce côté que le faisceau des franges s'élargit quand le champ est assez étendu. Le cas limite correspond à $\alpha = 90$: c'est

celui des hyperboles centrées sur le milieu du champ, qu'on aperçoit dans la lumière blanche avec des lames parallèles croisées, placées dans l'azimut 45° entre des tourmalines croisées.

IV. — Lames superposées. — Sections principales parallèles.

Si, les sections principales étant parallèles, les axes le sont aussi, le système agit comme une seule lame d'épaisseur double, et il n'y a pas à en parler. Mais, si l'on fait tourner l'une des lames de 180°, les axes ne seront plus parallèles, et le système prendra des propriétés nouvelles.

Le rayon, qui est ordinaire dans le premier cristal, reste ordinaire dans le second, et les retards s'ajoutent. On a donc, dans ce cas, cette première relation

$$\delta_1 = \delta + \delta'.$$

Le retard δ est, comme précédemment, donné par l'équation

$$\left(\frac{\delta}{p} - 1\right)\sin^2\alpha = (\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r$$
$$- \sin^2\alpha\cos^2\omega\sin^2 r - \sin 2\alpha\cos\omega\sin r.$$

Le retard δ' communiqué par la seconde lame, dont la section principale est à 180° de la première, s'obtiendra en remplaçant dans cette formule ω par $\omega' = 180 - \omega$, ou $\cos\omega$ par $-\cos\omega'$; d'où

$$\left(\frac{\delta'}{p} - 1\right)\sin^2\alpha = (\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r$$
$$- \sin^2\alpha\cos^2\omega\sin^2 r + \sin 2\alpha\cos\omega\sin r;$$

d'où, en ajoutant,

$$\left(\frac{\delta_1}{p} - 2\right)\sin^2\alpha = 2(\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)\sin^2 r - 2\sin^2\alpha\cos^2\omega\sin^2 r.$$

On passera aux coordonnées rectilignes en remplaçant $\sin r$ par $\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{2e}$, et l'on obtiendra

$$\left(\frac{\delta_1}{2p} - 1\right)4e^2\sin^2\alpha = (\cos^2\alpha + \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)y^2 + (\cos^2\alpha - \tfrac{1}{2}\sin^2\alpha)x^2.$$

Cette équation est la même que l'équation (5) dans laquelle le terme du premier degré en x a été supprimé. Elle représente donc

les mêmes courbes ramenées au centre du champ. Ces courbes sont toujours de trois espèces :

1° $\alpha < 54°44'$. — *Franges elliptiques.* — Par exemple, pour $\alpha = 45$, on a

$$x^2 + 3y^2 = 8e^2\left(\frac{\delta_1}{2p} - 1\right).$$

Ici $p = \frac{(n'-n)e}{2}$ et si le cristal est du quartz, $p = \frac{e}{200}$. Nos lames ayant 2^{mm} d'épaisseur, $e = 2$ et $p = 0^{mm},01$. En longueur d'ondes jaunes pour lesquelles $\lambda = 0,0005$, $p = 20\lambda$; les rayons normaux ont donc un retard $2p = 40\lambda$. La première ellipse correspondra à $\delta_1 = 41\lambda$; le carré de son grand axe est $\frac{8e^2}{40} = \frac{4}{5}$ et les carrés, pour toutes les ellipses, croisent comme les nombres 1, 2, 3, 4, ... Ce grand axe est toujours dirigé suivant la section principale, que nous supposons toujours sur la bissectrice de l'angle des tourmalines croisées.

2° $\alpha = 54°44'$. — *Franges rectilignes.* — On a, dans ce cas,

$$y^2 = 4e^2\left(\frac{\delta_1}{2p} - 1\right), \quad p = \tfrac{2}{3}(n'-n)e.$$

La frange centrale correspond à $\delta_1 = 2p$, elle a pour équation $y = 0$, c'est l'axe des x : les autres sont des *lignes droites* parallèles à la section principale et distantes de l'axe des x de quantités dont les carrés sont égaux à $\frac{4e^2}{2p}$ multipliés par 1, 2, 3, 4, ... En supposant encore $e = 2^{mm}$, $p = 26\frac{2}{3}\lambda$; $2p = 53\frac{1}{3}\lambda$, la première paire de droites correspond à $\delta_1 = 54\lambda$, elle a pour équation $y^2 = \frac{3}{60}$ et pour les autres ce nombre est multiplié par 1, 2, 3, 4, ...

Mais ce cas n'est qu'une limite dont on ne peut qu'approcher plus ou moins. Par exemple, si α est un peu plus petit que $54°44'$, on aura simplement des ellipses extrêmement allongées, et les franges rectilignes se courberont vers leurs extrémités.

3° $\alpha > 54°44'$. — *Franges hyperboliques.* — Ces franges sont des hyperboles conjuguées, mais non équilatères. Par exemple,

pour $\alpha = 60$, l'équation devient

$$5y^2 - x^2 = 24e^2\left(\frac{\delta_1}{2p} - 1\right)$$

avec

$$p = \tfrac{3}{4}(n' - n)e.$$

Supposons encore, pour fixer les idées, $e = 2^{mm}$; nous aurons, $p = 30\lambda$,

$$5y^2 - x^2 = 96.\left(\frac{\delta_1}{60\lambda} - 1\right).$$

Les asymptotes sont inclinées sur l'axe des x d'un angle dont la tangente égale $\sqrt{\frac{1}{5}}$ ou de $24°6'$. Elles ont pour équation

$$5y^2 - x^2 = 0$$

et correspondent à $\delta_1 = 60\lambda$. Dans l'angle aigu des asymptotes se trouvent les hyperboles d'ordre inférieur correspondant à $\delta_1 < 60\lambda$, leurs sommets sont sur l'axe des x. Dans l'angle obtus des asymptotes se trouvent les hyperboles d'ordre supérieur à 60, leurs sommets sont sur l'axe des y.

Le cas limite $\alpha = 90$ correspond aux lames parallèles à l'axe, qui donnent les mêmes franges à l'état de combinaison qu'à l'état isolé.

V. — Observation et projection des franges.

Dans le cas des lames perpendiculaires à l'axe ou des lames obliques croisées, la différence de marche des rayons normaux est nulle, les franges sont d'un ordre peu élevé et se produisent dans la lumière blanche. Ce sont les seuls cas dans lesquels on observe les franges à la lumière ordinaire.

Il n'en est plus de même avec les lames obliques, soit simples, soit superposées, à sections principales parallèles; la différence de marche des rayons centraux est alors plus ou moins grande; les franges sont d'un ordre élevé et l'on ne peut plus les observer que dans la lumière monochromatique.

Le moyen le plus simple pour obtenir cette lumière est d'employer la lampe de Brewster ou la lampe à alcool salé. On mettra devant la flamme une lentille demi-boule (telle que celle qu'on emploie pour l'éclairage du microscope), qui épanouira la lumière

en un disque jaune et l'on regardera ce champ soit avec la pince à tourmalines ordinaire, soit mieux encore avec la pince que j'ai présentée à la Société de Physique (séance du 7 mai 1880) et que j'ai construite spécialement dans ce but. Si l'on employait le microscope polarisant, on mettrait l'appareil éclairant devant le miroir polariseur.

La flamme de l'alcool est bien vacillante, c'est un pis-aller. Si l'on a du gaz, il faudra d'abord diminuer son pouvoir éclairant avec un bec Bunsen, puis recevoir la flamme soit sur un tube de verre, soit mieux encore sur une coupelle en platine contenant de la poudre de sel marin fondu. C'est une lampe qu'on trouve maintenant dans tous les laboratoires où l'on emploie les saccharimètres à lumière jaune.

La lumière de cette lampe est si vive qu'elle peut déjà servir à projeter les franges à une petite distance soit avec l'appareil Duboscq, soit avec le microscope polarisant légèrement modifié, tel que celui de M. Nodot. Mais, pour être suffisamment éclairées, les images sont trop petites pour les besoins de l'enseignement.

J'ai eu beaucoup de peine à obtenir des projections utiles avec la lumière jaune. J'ai essayé sans succès la lampe de M. Spottiswoode et, après plusieurs tentatives, je me suis arrêté à la lumière Drummond projetée sur un charbon de cornue, devant lequel on met un tube de verre. Quand le verre commence à fondre, la flamme devient d'un jaune très pur et très intense, mais elle redevient blanche quand le verre est fondu. Il faut donc le glisser doucement devant la flamme, et avec un peu d'adresse on parvient à la maintenir constante et à obtenir des projections suffisantes à plus d'un mètre. C'est par ce procédé que M. Ducretet a projeté les franges, à l'aide du microscope Nodot, devant la Société de Physique. Je lui avais indiqué qu'on pourrait peut-être imprégner un charbon de sel en les faisant cuire dans du sel marin fondu; il m'a fourni depuis un charbon semblable qui donne une très bonne flamme et facilite beaucoup les projections.

Mais ces projections seront toujours difficiles. Il faudrait tourner la difficulté en prenant des photographies sur verre, et projetant ces photographies à la lanterne magique. MM. Bardy et Duboscq ont bien voulu m'aider dans cette recherche. Mais ici les difficultés ont été insurmontables. La lumière jaune n'est pas photogénique ;

après une demi-heure de pose, elle n'impressionne pas le gélatino-bromure. La lumière verte du thallium est un peu plus favorable et nous a donné, au bout de deux minutes, des épreuves faibles et voilées. La lumière blanche est toujours plus ou moins mêlée à toutes ces lumières prétendues simples et commence par noircir la plaque avant que l'effet cherché ait pu se produire. C'est bien pis quand on opère à la lumière électrique avec la flamme du thallium, de l'argent, etc. La lumière est assez simple pour donner les franges, mais elle ne l'est pas assez pour les photographier. M'est avis qu'il faudrait faire un spectre avec la lumière blanche, et prendre dans ce spectre un faisceau peu étendu, la lumière violette par exemple, pour la faire tomber sur le microscope polarisant. On projetterait alors les franges dans la lumière privée de blanc et l'on pourrait espérer les photographier. J'attends le soleil pour réaliser cette tentative.

Méthode générale pour renforcer les courants téléphoniques; par M. James Moser.

J'ai l'honneur de communiquer à la Société une méthode pour renforcer les courants téléphoniques.

J'ai employé cette méthode à Paris pour transmettre la parole et la musique à cent téléphones récepteurs au moyen d'*un seul fil* souterrain, et j'ai également transmis la parole à grande distance sur les lignes de l'État pour deux récepteurs. La dernière expérience a été faite à Nancy et Paris. On parlait et entendait sans effort.

L'idée qui m'a guidé est simple. Concevons le circuit induit d'une transmission téléphonique. Ici la force électromotrice est produite dans la bobine induite, et elle est absorbée par la contre-force des téléphones récepteurs et par la résistance. *Cette bobine induite est donc, pour ce courant variable, ce qu'est un élément de pile pour un courant constant.*

Si nous augmentons le nombre des récepteurs ou la résistance dans un circuit téléphonique, l'intensité sera diminuée. Mais, comme on augmente l'intensité d'un courant constant en y intro-

duisant plus d'éléments de pile, j'ai cherché à renforcer l'intensité de ce courant induit téléphonique et à la ramener à sa valeur initiale en y introduisant plus de bobines induites. L'augmentation du nombre des bobines induites entraînera celle des bobines inductrices et nous fera accroître l'intensité du courant inducteur.

J'ai réussi, par mes expériences, à réaliser cette conception théorique.

Désignons par I l'intensité du courant inducteur, par i et r l'intensité et la résistance du courant induit, et par P, S, T les coefficients d'induction; l'intensité du courant induit s'exprime par l'équation

$$i = \frac{1}{r}\left(\frac{P\,dI}{dt} - S\frac{di}{dt} - \frac{dTi}{dt}\right). \tag{1}$$

L'amplitude de vibration du téléphone récepteur augmentera avec Mi, M étant l'intensité du champ magnétique du téléphone récepteur.

Supposons que le circuit induit ait contenu jusqu'ici une bobine et 4 téléphones récepteurs. En y introduisant maintenant 96 récepteurs au lieu de 4, nous multiplions la résistance et la contre-force par 24, en négligeant pour le moment la résistance de la ligne. Pour rétablir l'intensité initiale, il nous faut augmenter le nombre des bobines induites dans la même proportion, en en mettant 24 au lieu d'une seule. Pour pouvoir prendre 24 bobines induites, il nous faut 24 bobines inductrices. Au lieu de dI, il nous faut donc $24dI$.

Pour multiplier la variation par 24, je me suis d'abord servi de 24 circuits inducteurs séparés. Mais j'ai fini par réunir ces 24 courants élémentaires en un seul, ayant une intensité 24 fois supérieure. Ce courant inducteur est produit par une pile de grande surface, par exemple par des accumulateurs.

Au premier abord, on pourrait croire inutile de prendre les accumulateurs; car ce n'est que de la variation que paraît dépendre l'intensité du courant induit. Cependant, de la loi d'Ohm $= \frac{E}{R}$, nous déduisons la variation

$$dI = -\frac{E}{R^2}dR$$

ou

$$(2) \qquad dI = -I\frac{dR}{R}.$$

Il est vrai que l'intensité i du courant induit augmente selon l'équation (1) avec la variation dI du courant inducteur. Mais l'équation (2) nous fait voir que cette variation de l'intensité est proportionnelle à l'intensité même. Pour multiplier la valeur de I par 24, il faut réduire R. Cette résistance totale se compose de la résistance de la pile R_P, de celle du microphone R_M et de la bobine R_B. Nous avons donc

$$24\,I = \frac{E}{\frac{R_P}{24} + \frac{R_M}{24} + \frac{R_B}{24}}.$$

Le premier terme du dénominateur nous indique qu'il faut prendre une pile à très faible résistance, par exemple des accumulateurs. Le deuxième terme nous montre de même qu'il faut grouper nos 24 transmetteurs en quantité. Alors, ils ne forment qu'un seul transmetteur à contacts multiples. Le troisième terme détermine également le groupement des 24 bobines inductrices en quantité. Cet arrangement a été adopté pour obtenir 24 fois l'intensité I d'un des courants élémentaires. Mais, en général, un nombre d'éléments d'appareils téléphoniques étant donné, nous les grouperons toujours à l'instar des éléments de pile, de manière à obtenir dans les bobines inductrices le maximum de travail utile.

Quant à l'arrangement des microphones, l'équation (2) pourrait conduire à rejeter le groupement des microphones en tension. Si nous remplaçons un microphone par 4, dont 2 en tension et 2 en quantité, ce remplacement, au point de vue purement mathématique, paraît une complication, puisque R et dR sont restés les mêmes. Cependant l'expérience nous apprend que, pour chaque microphone, il existe une intensité maxima. Si nous la dépassons, des étincelles se produisent entre les charbons et causent un bruit qui nous empêche d'entendre. Par le second transmetteur à 4 microphones, en envoyant par chacune des deux séries de charbons l'intensité maxima, nous pouvons faire passer le double du courant maximum du microphone simple. Mais, comme nous l'avons montré plus haut, en doublant l'intensité du

courant inducteur, nous doublons celle du courant induit, et nous augmentons, par conséquent, l'amplitude de vibration du téléphone.

Pour le groupement des bobines induites et des téléphones récepteurs, les deux considérations théoriques suivantes indiquent un arrangement opposé. Il faut de la tension pour avoir le maximum de rendement et de travail utile; mais il faut de la quantité pour avoir le minimum de perte par fuite, condensation, absorption. Dans chaque cas particulier, la pratique doit prendre un terme intermédiaire entre ces deux extrêmes.

C'est donc une batterie de téléphones que j'ai construite. En permettant de donner au courant une intensité voulue, elle vaincra les difficultés de transmission, causées par une grande résistance, un grand nombre de récepteurs ou un isolement imparfait.

SÉANCE DU 2 MARS 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Dubois, Professeur au Lycée d'Amiens.
Delattre (André), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
Rouby (Emmanuel), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Paris.
Seligman-Lui, Sous-Ingénieur des Télégraphes, à Paris.
Tissandier (Gaston), Directeur du Journal *la Nature*.

M. Alf. Angot donne lecture du Rapport de la Commission des comptes. Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. Bertin décrit une modification apportée par M. Garbe au collimateur du spectroscope, pour permettre l'étude d'un phénomène en disposant la fente dans une direction quelconque.

Dans les spectroscopes ordinaires la fente doit être placée parallèlement aux arêtes des prismes; or, celles-ci étant verticales, quand l'instrument est dans sa position normale, on ne peut étudier le phénomène qu'avec une fente verticale, à moins de mettre le spectroscope dans une position anormale, ce qui entraîne de grandes complications.

M. Garbe évite ces difficultés, en disposant la fente suivant la direction nécessaire à l'étude du phénomène, et en se servant d'un prisme redresseur de M. Duboscq, qui donne de cette fente une image virtuelle parallèle aux arêtes des prismes.

Le prisme redresseur est placé entre la fente et la lentille du collimateur. Une bague permet de le faire tourner d'un angle de 180° autour de son axe, ce qui produit une rotation de 360° pour l'image virtuelle de la fente. On peut rendre ainsi cette image parallèle aux arêtes des prismes, quelle que soit la direction de la fente.

M. Hélouïs présente à la Société un nouveau système d'éclairage, dit *bec carbo-oxyhydrique.*

Le dard d'un chalumeau alimenté par du gaz d'éclairage carburé et par de l'oxygène frappe un crayon de matière réfractaire, constamment recouvert d'une couche de carbone très divisé; celle-ci, étant portée à une température extrêmement élevée, émet une lumière d'une éclatante blancheur.

Ce carbone divisé est obtenu au moyen de naphtaline ou d'huiles lourdes, contenues dans un réservoir placé au-dessous du bec. Une tige métallique qui supporte le crayon réfracteur plonge dans ce réservoir; étant chauffée par le fonctionnement même de l'appareil, elle détermine la volatilisation de l'hydrocarbure.

M. Hélouïs fait fonctionner d'abord un bec à quatre chalumeaux, qui donne une lumière très blanche, mais non bleuâtre comme celle de l'arc électrique; la lumière est, en outre, d'une remarquable fixité.

Ce bec équivaut à 17 carcels environ et consomme par heure :

Gaz	50^{lit}
Oxygène.....	140^{lit}
Carbures.....	40^{gr} à 50^{gr}

M. Hélouïs se sert ensuite d'un bec semblable, mais à un seul chalumeau, pour projeter quelques vues photographiques, à l'aide d'un appareil de M. Molteni. La lumière produite par ce bec, qui ne dépense que le quart de ce que dépense le précédent, est notablement plus vive que la lumière Drummond.

Enfin M. Hélouïs présente un bec carbo-oxyhydrique qui fonctionne sans adjonction d'oxygène. Le récipient d'huiles lourdes ou de naphtaline est une demi-sphère au centre de laquelle passe un tube qui supporte trois, quatre ou cinq becs à gaz riche. Ces becs, placés à $0^{m},50$ en dessous du récipient, produisent une couronne de lumière très blanche, et échauffent en même temps l'hydrocarbure.

Note sur un spectroscope à fente inclinée; par M. Garbe.

Un inconvénient du spectroscope, c'est l'obligation où l'on est de maintenir la fente parallèle aux arêtes des prismes, de sorte que, à moins de grandes complications, la fente ne peut prendre qu'une seule position : la position verticale.

Veut-on examiner une portion d'un tube de Geissler, il faut rendre cette partie verticale.

Veut-on examiner des franges d'interférence au spectroscope avec la fente perpendiculaire à leur direction, il faut les produire horizontales, ce qui est contraire au mode habituel d'opération.

Veut-on étudier les protubérances solaires et en déterminer les dimensions, il faut amener la fente en différentes positions f, f', f'', et construire une espèce de courbe mal définie et, avec tout cela, la position de la protubérance sur le disque n'est pas déterminée.

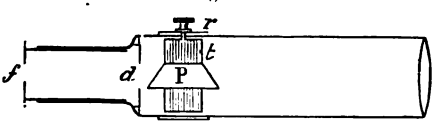
Le problème serait bien simplifié si nous pouvions explorer le bord de l'image du Soleil avec une fente f_1, toujours perpendiculaire au disque, ou une fente f_2 toujours tangente; f_1 donnerait la hauteur, f_2 la largeur de la protubérance.

De plus, l'angle de f_1 avec la verticale déterminerait la position de la protubérance si l'on suppose connue la position de l'image solaire par rapport à la verticale.

Un prisme redresseur, placé derrière la fente du collimateur, résoudra la question et donnera de cette fente oblique une image virtuelle parallèle aux arêtes des prismes.

Dans le spectroscope de M. Thollon à sulfure de carbone, la fente a 7^{mm} et, derrière, se trouve un diaphragme de $0^{m},01$ d'ouverture

Fig. 1.



environ. C'est à la suite de ce diaphragme que j'ai fait mettre le prisme redresseur centré dans un double tube *t* (*fig.* 1). Au

dehors est un tube de recouvrement r; r et t tournent par un bouton et, pour cela, le tube du collimateur est fendu sur un arc de 180°.

Le prisme est isoscèle; on abat l'angle réfringent de façon à mettre entre les deux bases une distance de $0^m,01$ par exemple, et on le centre de manière que l'axe du tube soit à égale distance de ces deux bases. Quant à la longueur de la base inférieure, je l'ai calculée de façon que le rayon axial vienne, après réfraction, se réfléchir au milieu de la base.

Le calcul montre qu'on a, dans ces conditions, pour le rapport de la hauteur h du prisme ainsi modifié à la base a :

$$\frac{h}{a} = \sin\alpha\cos\alpha\left(1 - \frac{\sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}\right),$$

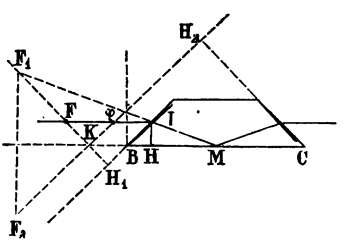
α étant l'un des angles égaux du prisme.

Si l'on se donne la distance des bases, on peut donc calculer la longueur à donner à la base inférieure pour que la condition précédente soit remplie. En particulier, pour $n = 1,53$, $\alpha = 45°$; ce rapport est $0,24$, et, si la distance des bases est $0^m,01$, l'hypoténuse devra être prise égale à $41^{mm},7$. Cette condition étant satisfaite, on est sûr que l'image virtuelle de la fente ne se déplacera pas par la rotation.

Ces nombres sont ceux que j'ai adoptés pour le prisme dont je me sers.

Le point sera changé, c'est-à-dire que, si la fente est au foyer

Fig. 2.



du collimateur, elle n'y sera plus après l'adjonction du prisme. La grandeur de ce déplacement est facile à évaluer.

Prenons le rayon médian (*fig.* 2) : après la première réfraction,

les rayons partis de F partiront de F_1. Après réflexion totale, ils partiront de F_2 symétrique de F_1 par rapport à la base. Après la seconde réfraction, le foyer sera sur la normale F_2H_2 à la seconde face et, comme le rayon de sortie est axial, il se trouvera en φ. Les triangles semblables donnent

$$\frac{F\varphi}{FI} = \frac{FK}{FH_1} = \frac{\frac{h}{2}\sqrt{2}}{\frac{FI}{\sqrt{2}}} = \frac{h}{FI},$$

donc

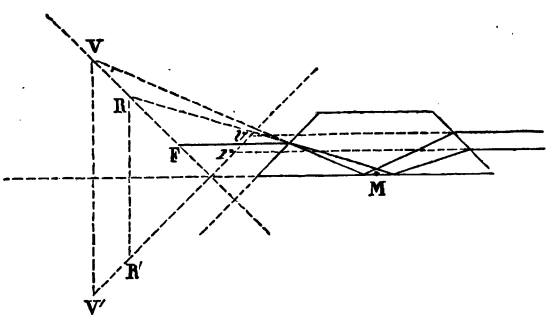
$$F\varphi = h.$$

Ainsi, pour ce rayon axial ou pour un cône de rayons ayant F pour sommet et FI pour axe, le point est changé d'une longueur égale à la hauteur du prisme modifié.

On démontre facilement qu'il en est de même pour un rayon non médian et, par suite, l'image virtuelle donnée par le prisme est une droite perpendiculaire à l'axe du collimateur.

Le point sera-t-il changé de la même manière pour les différentes

Fig. 3.



couleurs? La construction ci-dessus (*fig.* 3) montre que les foyers virtuels rouge et violet de F seront en r et v.

On voit déjà, puisque v est plus rapproché que r de la lentille du collimateur, que cette différence de point ne pourrait qu'aider à l'achromatisme de cette lentille. Mais, si l'on calcule cette différence pour le prisme dont j'ai donné plus haut les éléments, on trouve $0^{mm},15$ environ. C'est insignifiant.

En somme, l'adjonction de ce prisme redresseur ne nuit pas à l'observation, tandis qu'elle étend et facilite l'usage du spectroscope, surtout en ce qui concerne l'étude du Soleil.

M. Trépied, directeur de l'Observatoire d'Alger, a déjà adopté cette disposition dans son spectroscope Thollon et, ayant eu l'idée de repérer les protubérances par les déplacements angulaires de la fente, il a construit une table qui, pour des déclinaisons du Soleil variant de 4° en 4° et pour chaque heure du jour, donne l'angle de position de l'image du Soleil par rapport à la verticale.

Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1882.

La Commission que vous avez chargée de vérifier les comptes de l'année 1882 a accompli son travail avec la plus grande facilité, malgré les circonstances douloureuses qui ont obligé notre Trésorier à abandonner les fonctions qu'il avait remplies avec tant de dévouement depuis la fondation de la Société.

Le budget de 1882, établi par notre nouveau Trésorier pour un exercice dont il n'avait, du reste, pas eu la gestion, se règle ainsi :

Excédent des recettes sur les dépenses....	3212,95
Dépenses.....	6073,30
Recettes.....	9286,25

en augmentation de 200^{fr} environ sur l'excédent de 1881.

Au 1er janvier 1883, la situation financière de la Société est la suivante :

1° Espèces en caisse, 2595^{fr},35;

2° 73 obligations des chemins de fer du Midi, ayant coûté ensemble 35 991^{fr},50.

La Société compte actuellement 69 membres à vie. Le capital inaliénable, placé conformément aux Statuts, doit donc être de 13 800^{fr}. Sur les 73 obligations de chemins de fer que nous possédons, 50 ont été, cette année, transformées en titres nominatifs, et représentent, aux cours actuels, une valeur de 18 300^{fr} environ, supérieure de 4500^{fr} à la réserve obligatoire.

Votre Commission estime donc qu'il n'y a pas lieu, pour le moment, de transformer en titres nominatifs un plus grand nombre d'obligations. Toutefois, pour diminuer la responsabilité de votre Trésorier, il serait bon de l'autoriser à déposer, s'il le juge utile, les titres au porteur à la Banque de France; les droits de garde ne s'élèveraient, du reste, qu'à la somme minime de 4^{fr},60 par an.

Enfin, en présence de la situation florissante de nos finances, nous avons pensé qu'il n'y aurait aucun inconvénient à ce que la Société de Physique, suivant l'exemple d'un grand nombre d'autres Sociétés, publiât régulièrement chaque année son budget.

En conséquence, la Commission des Comptes a l'honneur de proposer à la Société :

1° D'approuver le budget des recettes et dépenses de l'exercice 1882, tel qu'il a été présenté par le Trésorier;

2° D'autoriser le Trésorier à déposer en son nom à la Banque de France les titres au porteur qui forment une partie de notre actif;

3° De décider que le budget de la Société sera publié chaque année dans le *Bulletin des Séances*.

Les membres de la Commission :

ANGOT, *rapporteur*.
DUBOSCQ.
SERRÉ-GUINO.

SÉANCE DU 3 MARS 1882.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance a été consacrée, suivant l'usage, à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année.

Le buste de d'Almeida, œuvre de M. Guillaume, était, pour la première fois, exposé aux yeux de la Société.

Une seconde séance a eu lieu le mercredi 28 mars pour les invités de la Société.

M. le Président indique brièvement la répartition, dans les différentes salles, des appareils exposés par les membres de la Société et les dispositions prises pour l'éclairage.

La *French electrical Power Storage Compagny*, au moyen de puissantes batteries d'accumulateurs de divers systèmes, entretient trois lampes à arc et un grand nombre de lampes à incandescence des modèles les plus variés; les plus faibles peuvent fonctionner avec un seul accumulateur.

En outre, une batterie de 35 éléments actionne deux machines Siemens, pouvant produire l'une 1 cheval, l'autre 5 chevaux; des freins du système Raffard-Carpentier sont disposés et permettent de faire des expériences dynamométriques sous les yeux des membres de la Société.

La Société Edison a bien voulu, de son côté, éclairer la salle des séances; grâce au concours bienveillant de MM. Weyher et Richemond, qui ont prêté à la Société une machine locomobile de 12 chevaux, placée dans un terrain voisin, on a eu la force nécessaire pour faire mouvoir la machine Edison.

Enfin, M. Trouvé éclaire, au moyen de simples piles à bichromate, les salles d'audition téléphonique; dans ces salles fonctionnent cinquante-quatre paires de téléphones, disposés, par M. Moser, d'après les principes développés par lui, dans une séance précédente, en neuf groupes associés en quantité; un fil *unique* relie notre salle au fil aboutissant chez M. Quantin, qui a obligeamment renoncé à l'usage de son fil pour la soirée; on est ainsi relié par les voies ordinaires, au bureau de la rue du Bac, et au salon de M. le Ministre des postes et télégraphes et à l'Opéra; sur la scène sont disposés trente transmetteurs Ader.

Cette expérience est faite pour la première fois; on a pu seulement constater, avant la séance, que la parole s'étendait dans les cinquante-quatre paires de téléphones, bien qu'on ne disposât que d'un fil unique (1).

L'installation de cette expérience n'aurait pu être faite, si l'on n'avait rencontré, auprès de l'administration de l'Opéra, de la Société générale des téléphones, à qui appartiennent les lignes, de la Société internationale des téléphones à qui appartiennent les appareils et enfin auprès de M. le Ministre des postes et télégraphes, l'accueil le meilleur et même un concours actif.

M. Potier propose à la Société d'adresser des remercîments à toutes les personnes qui ont contribué à rendre spécialement intéressante cette réunion annuelle.

---

(1) L'audition de l'Opéra n'a pu avoir lieu le mardi par suite d'un défaut accidentel dans l'installation des microphones sur la scène de l'Opéra; le lendemain, l'expérience a fonctionné pendant toute la soirée d'une manière très satisfaisante.

Le Président présente à la Société le buste de d'Almeida, et donne la parole à M. Mascart, Président du Comité de souscription, qui prononce le discours suivant :

« La mort de M. d'Almeida a été la perte la plus cruelle que pût éprouver la Société française de Physique. Sûr de répondre aux sentiments de tous nos collègues, le Conseil a pris l'initiative d'une souscription destinée à élever un monument à notre premier Secrétaire général ; dans la séance du 7 janvier 1881, la Société approuva, par un vote unanime, la proposition du Conseil et décida qu'elle prendrait la souscription sous son patronage.

» Les membres de l'Association des anciens élèves du Lycée Henri IV et les amis de M. d'Almeida se sont joints à nous avec empressement; le Comité constitué pour recueillir cette souscription m'a fait l'honneur de me désigner comme président, en raison des fonctions que je remplissais alors à la Société de Physique, et je dois, au moment d'inaugurer le buste, vous rendre compte de notre mission aujourd'hui terminée. La tâche a été singulièrement facile : au premier appel, les adhésions se sont présentées de toutes parts, des plus grandes situations scientifiques, des amitiés que M. d'Almeida avait formées dans le monde littéraire ou politique et surtout d'un nombre considérable de savants, de professeurs, de physiciens, d'amis de la Science inconnus à qui il avait eu l'occasion de rendre service; quelques-unes, venant de l'étranger, ont été accueillies avec une gratitude particulière.

» En dehors des souscriptions directes, nous avons trouvé, sous d'autres formes, un concours non moins précieux. M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts nous a fait don d'un marbre d'une beauté remarquable. La modicité de nos ressources ne semblait pas nous permettre de grandes prétentions artistiques ; mais, ici encore, nous avons eu la bonne fortune de rencontrer un ami. M. Guillaume, membre de l'Institut, en souvenir de ses relations personnelles avec M. d'Almeida, a bien voulu se charger de l'exécution du buste. L'éminent statuaire a reproduit les traits de M. d'Almeida, sa noble distinction, son regard sympathique et bienveillant, avec une fidélité inespérée. En même temps qu'un

portrait exact, il nous a donné une belle œuvre d'art, et je suis certain d'être votre interprète en lui exprimant, au nom de la Société, notre plus profonde reconnaissance.

» Pour laisser à chacun des souscripteurs un souvenir de l'homme que nous voulons honorer, le Comité a eu la pensée de publier une Brochure qui renfermerait l'excellente Notice de M. Bouty sur M. d'Almeida, les paroles prononcées sur sa tombe, ainsi que le compte rendu de la séance actuelle, et de placer, en tête de cette Notice, une reproduction du buste lui-même. M. Dujardin, dont les belles épreuves par héliogravure sont si estimées, a pris à cœur d'apporter aussi sa contribution sous une forme particulière en faisant les frais de cette reproduction.

» Je n'ai plus à apprécier ici le rôle de M. d'Almeida, mais le sentiment général de sympathie et de regrets, dont ce buste restera le témoignage dans la Société de Physique, m'autorise à caractériser, en quelques mots, le sens que nous attachons à cette manifestation. Dans toute sa carrière, M. d'Almeida s'est fait remarquer par la droiture du caractère, l'aménité des relations, le désir d'être utile et surtout le sentiment le plus élevé du bien public. Pendant l'année cruelle, déjà si loin de nous, que n'oublieront jamais ceux qui ont été les témoins ou les acteurs de la Défense nationale, M. d'Almeida s'était dévoué tout entier. C'est à lui qu'on doit la première idée des photographies microscopiques employées comme moyen de correspondance entre les départements et Paris investi. Il voulut ensuite faire davantage : il partit en ballon, le 17 décembre 1870, avec une mission difficile à remplir. Au milieu des dangers de toute nature, par un climat rigoureux, M. d'Almeida fit preuve d'un rare courage et déploya une énergie au-dessus de ses forces physiques, sans avoir la consolation d'arriver à temps pour que ses efforts fussent utiles au pays. Le rapport qu'il a rédigé sur cette expédition est comme le récit d'un drame dont on voudrait pouvoir communiquer le souffle généreux. M. d'Almeida y montre, par l'exemple, qu'un savant a une patrie, si la Science n'en a pas, et comment il sait la servir. C'est là que l'on trouve l'idée dominante qui l'a dirigé dans les dernières années de sa vie, et qu'il exprimait discrètement dans la Préface de son *Journal de Physique :* travailler au développement des forces intellectuelles et morales de la France. La création du *Journal de Physique* et

l'organisation de la Société de Physique, dont il s'est occupé avec tant de zèle, seront l'honneur de sa carrière. La Société peut fêter aujourd'hui le dixième anniversaire de son existence; sa prospérité est toujours croissante et, s'il est permis d'évoquer la pensée de ceux qui ne sont plus, nous pouvons affirmer que d'Almeida serait satisfait du progrès des œuvres auxquelles son nom restera attaché. La Société continue de travailler et de se développer dans l'esprit qu'avait voulu lui inspirer son premier secrétaire général : *Pro Patria* (1). »

Sur un bec à flamme intermittente; par M. Neyreneuf.

Le bec à flamme intermittente est constitué par deux tubulures recourbées ACD, BED, reliées ensemble et à un tube O de conduite du gaz. Les extrémités A et B, largement ouvertes, se trouvent à des niveaux différents.

Soient

h la différence des niveaux entre A et B;

a l'excès de pression du gaz en A sur la pression atmosphérique;

1 la densité de l'air;

d celle du gaz.

---

(1) Nous croyons faire un acte de justice en rappelant ici les origines de la Société de Physique, comme l'avait déjà fait M. Lissajoux dans son Rapport sur le projet de Statuts, lu à la première séance du 17 janvier 1873.

Dès l'année 1868, M. Bertin avait provoqué une réunion intime de quelques physiciens pour s'entretenir des questions qui paraissaient les plus intéressantes dans les publications françaises et étrangères; bientôt après il accueillit cette Société naissante dans le laboratoire de Physique de l'École Normale, où l'on trouvait toutes les facilités matérielles pour répéter les expériences. Le nombre des invités s'accrut rapidement, car la réunion était largement ouverte aux savants et aux professeurs qui manifestaient le désir d'y prendre part. Les locaux dans lesquels nous avions trouvé à l'École Normale une si gracieuse hospitalité ne tardèrent pas à devenir insuffisants; la réunion ne conservait pas de procès-verbaux des communications qui lui avaient été présentées, et son caractère privé, ainsi que l'absence de ressources propres, ne permettaient pas de lui donner les développements et la portée plus générale dont elle était susceptible. En 1872, le succès de cette tentative restreinte parut assez établi pour assurer l'avenir d'une Société

Lorsqu'on aura

$$a = h(1 - d),$$

l'écoulement du gaz cessera par B.

Pour un excès de pression $d' < a$, l'air rentrera par cette ouverture pour s'élever dans l'autre branche à un niveau n, tel que

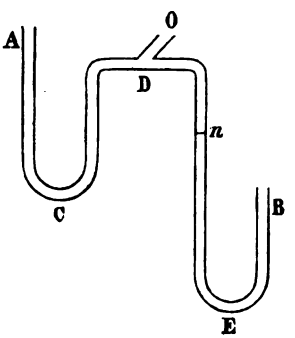
$$a' = h'(1 - d),$$

h' représentant la différence de niveau entre A et n.

Cette relation correspond à un cas d'équilibre qu'il est facile de réaliser en faisant diminuer graduellement le débit du gaz par O au moyen d'une pince à vis. La flamme blanche qui se maintient en A, dans ces conditions, n'éprouve aucune modification si l'on vient à fermer B avec le doigt.

La partie recourbée DCA n'a joué encore aucun rôle, et les choses se passeraient identiquement de la même manière, pour

Fig. 1.



toute tubulure d'égale résistance interne amenant la même différence de niveau.

Soit h'' la différence des niveaux de D et de A, et posons

$$a'' = h''(1 - d);$$

---

définitive et une Commission de quelques membres, dont M. d'Almeida était le véritable inspirateur, fut chargée de préparer des statuts provisoires. Plus de soixante-dix adhésions, formées, pour la plupart, des membres de la réunion de l'École Normale, étaient obtenues au bout de quelques jours seulement, et la liste des membres fondateurs a été déclarée close dans la séance du 14 février 1873.

dans ce cas, le niveau n se trouverait porté en D, et l'équilibre serait encore possible; mais, pour toute valeur de $a < a''$, l'air se trouvera entraîné en même temps que le gaz. En vertu de sa plus grande densité, ce mélange va refouler brusquement le gaz qui remplit la portion recourbée DCA et qui produira en A une flamme éclairante singulièrement agrandie. A cette flamme en succède une autre de plus en plus réduite d'éclat et de grandeur, tant par la diminution de la vitesse d'écoulement que par l'action de la présence de l'air dans le milieu qui la constitue.

Lorsque DCA est rempli d'un mélange plus dense d'air et de gaz, l'écoulement en O éprouve une résistance qui donne au gaz, dans le tuyau de conduite, une pression plus grande. Un manomètre, installé en dérivation, permet de constater facilement cette augmentation de force élastique susceptible de supprimer l'appel d'air jusqu'en D. Dès lors le gaz pur va remplir à nouveau l'appareil et les choses se remettre en l'état primitif. La même série de phénomènes devra donc se reproduire.

On peut réaliser une flamme intermittente qui persiste des heures entières, et qui présente, après un vif éclat, une extinction presque complète au moyen de deux tubes de verre dont la longueur est de $0^m,25$, et le diamètre de $0^m,008$, reliés au moyen de tubes de caoutchouc de $0^m,50$ de longueur à un tube en T, par lequel arrive le gaz.

Il suffit que la différence de niveaux des deux ouvertures soit de $0^m,15$.

Le phénomène d'intermittence se produit, bien entendu, sans qu'il soit nécessaire de faire brûler le gaz en A, et on peut l'enflammer aux divers instants, soit quand il sort pur, soit quand il est remplacé par un mélange presque détonant.

Description d'un hygromètre à condensation intérieure; par M. A. Crova.

Les hygromètres à condensation permettent de mesurer rapidement et souvent avec précision l'état hygrométrique de l'air. En Météorologie, il est nécessaire de faire ces déterminations en plein

air, près de l'abri qui supporte les instruments d'observations courantes, et particulièrement le psychromètre, afin de contrôler leurs indications et de calculer leur constante. L'hygromètre de Regnault, surtout avec la modification si commode de M. Alluard, est généralement employé dans ce but.

En répétant ces comparaisons, j'ai remarqué que ces hygromètres sont souvent en défaut, surtout quand le vent est assez fort et l'état hygrométrique très faible, comme cela arrive fréquemment dans le midi de la France. La cause de ce désaccord est facile à trouver : le principe de la condensation à la surface d'une enveloppe métallique refroidie intérieurement suppose que la couche d'air en contact avec elle se met immédiatement en équilibre thermométrique avec la paroi refroidie; on conçoit que, si l'air est très agité et le point de rosée très bas au-dessous de la température extérieure, l'air glisse à la surface du métal sans se mettre complètement en équilibre de température avec lui, et que l'on obtienne des états hygrométriques trop faibles.

Pour éviter cet inconvénient, j'ai adopté le principe de la condensation à l'intérieur d'une enveloppe polie, refroidie extérieurement. La *fig.* 1 représente l'appareil tel que l'a construit M. Golaz sur mes indications (1).

Un tube en laiton mince, nickelé et poli soigneusement à l'intérieur, est fermé à sa partie antérieure par un verre dépoli, et à l'autre extrémité par une loupe à long foyer qui permet de voir nettement l'intérieur du tube; un écran noirci élimine l'influence perturbatrice de la lumière extérieure.

L'œil placé devant la loupe voit directement le verre dépoli et, par réflexion sur les parois intérieures du tube, son image sous la forme d'une surface annulaire qui l'entoure et dont le rayon extérieur est triple de celui du verre dépoli.

Le tube est fixé dans l'axe d'une boîte prismatique en laiton remplie de sulfure de carbone et munie de deux robinets; par l'un, arrive un courant d'air qui barbotte dans le sulfure et le refroidit par évaporation. L'air chargé de vapeurs est évacué par l'autre robinet.

---

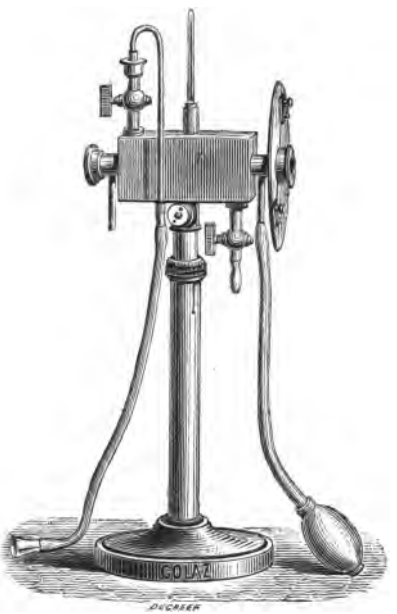
(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCIV, p. 1514.

Aux deux extrémités du tube sont adaptées deux tubulures destinées à faire passer dans son axe l'air dont on veut mesurer l'état hygrométrique. Un thermomètre adapté à la boîte et dont le réservoir plonge dans le sulfure, au contact du tube, donne la température du point de rosée.

Pour se servir de l'hygromètre, on remplit le réservoir aux trois quarts de sulfure de carbone, et l'on adapte le thermomètre.

Au robinet muni d'un tube recourbé, on ajuste un tube de

Fig. 1.



caoutchouc, muni d'une embouchure, qui sert à insuffler l'air qui, après s'être saturé de vapeurs de sulfure de carbone, est évacué par l'autre robinet auquel est adapté un autre caoutchouc; celui-ci passe à travers un orifice pratiqué dans la croisée devant laquelle est placé l'appareil.

L'air dont on veut mesurer l'état hygrométrique est aspiré du dehors par un tube de cuivre flexible ou de plomb de petit diamètre qui traverse un autre orifice pratiqué dans la croisée, et va chercher l'air au point où l'on veut mesurer son état hygrométrique;

ce tube s'adapte au moyen d'un caoutchouc à l'une des petites tubulures fixées au tube dans l'intérieur duquel on observe le dépôt de rosée; l'autre tubulure reçoit un caoutchouc à parois un peu épaisses aboutissant au tube d'aspiration d'une poire de caoutchouc à soupape, que l'on tient à la main gauche pendant que l'on regarde dans l'axe du tube. Pendant le jour, la lumière de la croisée est suffisante pour éclairer le verre dépoli; la nuit, on l'illuminera très suffisamment au moyen d'une bougie.

Pour faire une détermination, on incline légèrement l'appareil sur sa charnière, afin d'observer plus commodément dans une direction un peu plongeante; on ouvre d'abord le robinet d'évacuation, puis celui d'insufflation, afin d'éviter que la tension de vapeur du sulfure de carbone ne le refoule à l'état liquide dans le tube d'insufflation, puis on souffle rapidement par ce dernier tube, pendant que la main gauche comprime la paroi de caoutchouc et l'abandonne ensuite à son élasticité jusqu'à ce qu'elle soit gonflée, et ainsi de suite, de manière à entretenir un courant lent d'air dans l'axe du tube.

Dès que le point de rosée est atteint, on voit la partie brillante annulaire du champ se recouvrir de taches sombres d'apparence fuligineuse; on arrête alors l'insufflation tout en maintenant de la main gauche le courant d'air dans l'axe du tube; la température remonte, et, afin de ralentir le réchauffement et en même temps d'empêcher le sulfure de se séparer en couches d'inégales températures, on souffle de temps en temps pour agiter le liquide.

Les taches fuligineuses pâlissent alors, puis s'évanouissent nettement; au moment où elles vont disparaître, on lit la température du point de rosée, puis on souffle lentement pour les faire disparaître. Avec un peu d'habitude, on obtiendra le point de rosée avec une erreur moindre que $\frac{1}{10}$ de degré. On ferme alors les deux robinets et l'appareil est pris pour une nouvelle détermination. La température de l'air est donnée par un thermomètre extérieur ou par un thermomètre fronde.

On peut ainsi mesurer très exactement, dans un laboratoire, l'état hygrométrique de l'air extérieur, quelles que soient les circonstances atmosphériques extérieures [1].

---

[1] Si le poli du tube de laiton nickelé est altéré en quelques points par des

Les points de rosée donnés par cette méthode sont toujours supérieurs à ceux que donnent les hygromètres à condensation extérieure.

Par les temps calmes, chauds et humides, les différences sont souvent négligeables, mais elles s'accentuent d'autant plus que l'air extérieur est plus agité et plus sec.

PROGRAMME

DES APPAREILS EXPOSÉS A LA SÉANCE DE PAQUES.

Éclairage de la grande salle par la **Société Édison**, Machine dynamo-électrique d'Édison. Machine à vapeur de	MM. **Weyher et Richemond.**
Éclairage électrique de l'escalier, de la salle du rez-de-chaussée et de la salle d'entrée par les lampes à incandescence et à arc fonctionnant au moyen des accumulateurs de la	Cie **French Electrical Power Storage.**
Éclairage de la salle des Téléphones par les lampes à incandescence alimentées par la pile à courant constant de	M. **Trouvé.**
Applications des accumulateurs électriques à tous les usages industriels. Éclairage électrique. Transmission de force motrice. Ergomètre de MM. **Ayrton** et **Perry**, etc.; présentées par la	Cie **French Electrical Power Storage.**
Méthode générale pour renforcer les courants téléphoniques. Audition multiple à fil unique; par.....	M. **Moser.**
Téléphone et récepteur parlant haut; par.....	M. **Goloubitzky.**
Expériences de M. **Bertin** sur la projection, dans la lumière monochromatique, des franges des lames cristallisées obliques à l'axe; expériences réalisées avec le microscope polarisant de M. Nodot, construit par M. E. Ducretet; par	M. **E. Ducretet.**
Machine de Holz à frotteur amorceur. Tubes de Crookes à cristaux fluorescents; présentés par	M. **Ducretet.**
Appareil d'hydrostatique; modifié par.....	M. **Pellat.**
Bec carbo-oxhydrique pour appareil à projection; par...	M. **Hélouïs.**

---

poussières entraînées dans l'axe du tube, il suffit de dévisser les deux viroles extrêmes et de passer dans l'intérieur une tige de bois blanc recouverte de peau de daim saupoudrée de rouge d'Angleterre.

Projections de photographies relatives à l'enseignement; par..... M. **Molteni.**

Nouvel hygromètre de M. **Crova**; construit par..... M. **Golaz.**

Magnétomètre de M. **Mascart** pour l'étude des variations du magnétisme terrestre. Galvanomètre Thomson. Échelle de réflexion; présentés par..... M. **Carpentier.**

Enregistreur photographique de M. Mascart, présenté par M. **Duboscq.**

Appareil de cours pour la projection des raies brillantes du spectre; par..... M. **Wolf.**

Modèle de pile à électrode négative cloisonnée. Modèle d'accumulateur électrique; par..... M. **E. Reynier.**

Pile au bichromate de potasse à courant constant. Éclairage domestique mixte; par..... M. **Trouvé.**

Galvanomètre Thomson. Sonnerie de Redon. Tore de Foucault. Microphone et téléphone Bréguet. Téléphone Bottcher. Appareil Ducoussou-Breguet. Boussole de Gaugain. Pile humide; présentés par..... M. **Sciama.**

Machine électrique de Woss; présentée par..... M. **Hempel.**

Galvanomètre. Lampe électrique. Petite machine magnéto-électrique. Pile régénérable; par..... M. **Delaurier.**

Bec à flamme intermittente; par..... M. **Neyreneuf.**
Piles transportables. Appareil électromagnétique; par.... M. **Chardin.**

Interrupteur destiné aux recherches physiologiques et médicales. Nouveau montage d'un signal électromagnétique; par ..... M. le **Dr Noël.**

Spectrophotomètre de M. H. **Trannin**; construit par..... MM. **A. et Th. Duboscq.**

Appareil scolaire pour projections au pétrole. Appareil de M. Jamin à spath parallèles. Nouveau diabétomètre à franges, par..... M. **Lutz.**

Spectre de l'ozone et de l'acide pernitrique. Appareil pour l'étude optique des gaz à des pressions élevées; par ... M. **Chappuis.**

Nouvelle chambre claire. Ophtalmoscope pour deux observateurs. Œil artificiel du Dr Landolt; par..... M. **Nachet** (Jeune).

Saccharimètre à pénombre employé avec une lumière ordinaire. Ophtalmomètre de MM. Javal et Schiötz; par M. **Laurent.**

Calibreur de baromètres; par..... M. le **colonel Goulier.**

Étoile pour le calibrage de l'âme d'une pièce. Cathétomètre pour la mesure de la déformation des métaux (appartenant à la Cie P.-L.-M.); par..... M. **Dumoulin-Froment.**

Spectroscope à grande dispersion. Spectre d'absorption de l'atmosphère aux environs des raies D; par..... M. **Cornu.**

Transparence actinique de quelques milieux. Application en photographie de la transparence actinique des mi-

roirs de Foucault (Photographie sans lumière apparente); par ..... M. de Chardonnet.

Figuration électrochimique des systèmes équipotentiels; par ..... M. Guébhard.

Nouveau moteur électrique dit *écliptique;* par ..... M. Jablochkoff.

Réseaux concaves de M. Rowland. Spectre de la lumière électrique; par..... M. Mascart

---

SÉANCE DU 6 AVRIL 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Glasewski (J.-P. Alex.), Commissionnaire en instruments de physique, à Paris.
Guérin (Emile), Constructeur d'appareils électriques, à Paris.
Poncelet, Pharmacien, à Morez (Jura).
Villy, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

M. le Secrétaire général signale, dans la Correspondance : 1° une Note de M. *E. Delaurier,* intitulée : *Preuve expérimentale de la transformation de la chaleur en électricité dans les piles;* 2° une brochure de M. *Montigny* constatant une augmentation de la scintillation des étoiles pendant les aurores boréales et plus généralement pendant les orages magnétiques; 3° une Note de M. *Pellerin* sur un dispositif capable d'atténuer les effets de l'extra-courant dans la bobine de Ruhmkorff : « Soient deux bobines de Ruhmkorff identiques; qu'on associe les bobines inductrices en quantité, les bobines induites l'étant en tension, et un interrupteur commun étant placé sur la partie non divisée du courant. De la sorte les extra-courants, produits successivement dans les deux bobines, se contrarient, et il s'ensuit que cette disposition ajoutera son effet à celui du condensateur commun »; 4° une Note de M. *Colson* sur les moyens d'améliorer le rendement des téléphones magnétiques. M. Colson propose : 1° de construire l'aimant, soit en se servant d'un aimant creux fendu longitudinalement, soit d'un faisceau de barreaux isolés, de manière à éviter les courants d'induction secondaires qui se développent dans sa masse; 2° de ramener le second pôle dans le voisinage de la bobine et de l'épanouir de manière à entourer celle-ci. M. le Secrétaire général fait remarquer que

cette dernière disposition, sauf la fente longitudinale, a été réalisée dans le téléphone présenté l'année dernière à la Société par M. d'Arsonval.

M. Laurent présente à la Société des appareils destinés à contrôler les surfaces *planes, parallèles, obliques et perpendiculaires,* soit achevées, soit pendant l'exécution. Ils permettent à l'opticien d'arriver sûrement à la précision nécessaire.

Surfaces planes. — On les compare à un plan type, au moyen des franges dans la lumière monochromatique. L'appareil n'est qu'une modification de celui de M. Fizeau. Toutes les pièces sont fixées, le plan type est équilibré et peut se déplacer parallèlement à lui-même; le support des surfaces est indépendant du reste de l'appareil. On voit toujours des franges et on les transforme en anneaux avec les vis calantes.

Surfaces parallèles. — L'appareil se compose d'une lunette et d'un collimateur, ils portent tous les deux des fils croisés et sont réglés à l'infini. Un plan type se place entre eux, sur trois pointes. On éclaire les fils du collimateur pour rendre les axes parallèles par *réfraction* et l'on éclaire ceux de la lunette, pour rendre le type perpendiculaire, par *réflexion.* On peut aussi remplacer les fils par une fente. Si alors on place sur le type un système optique à faces parallèles (glace, nicol, prisme biréfringent), on jugera de sa netteté, de son centrage et de son achromatisme, par la position des fils, réfractés ou réfléchis.

Surfaces obliques.— On remplace, dans l'appareil précédent, le support de la lunette par une alidade mobile dont les déplacements sont mesurés par un cercle divisé. Le type est rendu perpendiculaire à la lunette placée verticalement et au zéro de la graduation. On le remplace ensuite par un prisme, et l'on tourne la lunette pour la rendre perpendiculaire à la face polie : l'angle dont elle a tourné est égal à celui du prisme.

Surfaces perpendiculaires. — La lunette est horizontale. Le type comprend deux surfaces parallèles coupées par une surface perpendiculaire aux précédentes; on pose horizontalement celle-ci sur les trois pointes. Ce type sert à régler la lunette par réflexion; on le remplace ensuite par les surfaces à essayer, et la position des fils réfléchis indique l'erreur.

M. Laurent donne des explications au moyen de croquis dessinés sur le tableau, et fait fonctionner les appareils.

William Grosselesto
Ingénieur

Appareils d'Optique destinés à contrôler les surfaces planes, parallèles, perpendiculaires *et* obliques ; *par* M. Léon Laurent.

Les progrès de la Science et le développement des instruments scientifiques nécessitent pour leur exécution des outils *perfectionnés* qui deviennent eux-mêmes de véritables instruments, car leur précision doit être du même ordre que celle des premiers.

Les instruments que je vais décrire servent non seulement pour les surfaces *achevées*, mais aussi *pendant* leur exécution ; ils permettent à l'ouvrier opticien d'arriver peu à peu et sûrement à la précision qu'on exige de lui.

Appareil pour vérifier les surfaces planes.

On les compare à un plan type *connu,* au moyen des franges d'interférences produites dans la lumière monochromatique jaune, entre le type et la surface à essayer ; c'est l'appareil de M. Fizeau *modifié.*

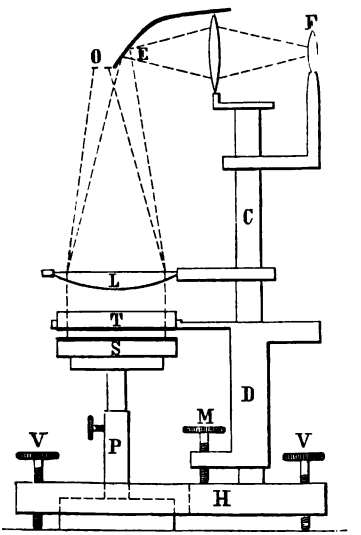
La *fig.* 1 représente une coupe verticale de l'appareil vu de côté. La flamme F donne son image en E sur un prisme à réflexion totale, traverse la lentille L, le plan type T, se réfléchit sur la surface à essayer S en produisant des franges et se concentre en O.

L'usage des franges est très délicat ; pour mon but spécial et afin d'opérer vite, j'ai dû faire à l'appareil quelques modifications assez importantes. Je remplace le prisme par un écran fixe à 45° ; il reçoit en E, sur du papier blanc, une image large de la flamme F ; en regardant en O, on voit tout le champ uniformément éclairé et l'on a une grande latitude pour mettre l'œil. Je place le type T au-dessous de la lentille L : il est équilibré sur son support par trois ressorts ; ce support est fixé à une douille D, qui glisse sur la colonne C au moyen de la vis M, de sorte que le type monte ou descend *parallèlement* à lui-même. Le socle H porte trois vis à caler V ; il y a une échancrure dans laquelle on place un support P indépendant, dont la colonne est à ral-

longe afin de pouvoir supporter des pièces de différentes épaisseurs.

Soit une surface S à examiner : on la pose sur le support P, on l'élève jusque près du type T et l'on regarde en O. On dévisse M, le type descend et, dès qu'il touche la surface, on voit des franges; par les trois vis V, on les transforme en anneaux; par la vis M on monte ou l'on baisse le type, on est ainsi maître des franges et, si on les perd, on les retrouve de suite. Le plan type a sa place bien déterminée sous la lentille, mais on peut soulever

Fig. 1.



un peu son support D, le tourner de côté et sortir à volonté, soit le type T, soit la grande lentille L, qui ne sont que posés dans leurs creusures, pour les essuyer, etc.

Dans la pratique ordinaire, on peut encore simplifier beaucoup la manipulation; il suffit, en effet, d'appliquer la surface à essayer, sous le type T, en la soutenant à la main; on voit, *de suite,* l'état de la surface, si elle est régulière ou non, convexe ou concave, et l'on peut examiner plusieurs surfaces en peu de temps.

Les réglages superflus sont supprimés, la plupart des pièces

sont fixées : le support de la flamme F, l'écran E et la lentille L; l'appareil n'est pas sujet à se déranger et il est toujours prêt.

Le plan-type a un diamètre de $0^m,19$; pour l'obtenir, on travaille trois plateaux de même diamètre et on les compare deux à deux, dans la lumière monochromatique; on note le nombre d'anneaux noirs (ou jaunes) et leur signe, c'est-à-dire qu'on observe si, en appuyant au centre du plan T, ils diminuent de diamètre ou s'ils augmentent. Dans le premier cas, la déformation produite est de même signe que celle qui préexistait; l'intervalle des deux verres est plus mince au centre des anneaux qu'au bord : c'est l'inverse dans le second cas. Les observations fournissent trois équations à trois inconnues : on en déduit facilement la valeur de chacune des trois surfaces comparées, c'est-à-dire le nombre et le signe des anneaux qu'elle donnerait dans la lumière jaune avec un plan idéal parfait. Connaissant le diamètre du plan imparfait et le nombre d'anneaux, on peut calculer le rayon de courbure de sa surface.

Appareil pour contrôler les surfaces parallèles.

L'appareil est représenté [*fig.* 2 (à gauche)] en coupe verticale. Il se compose d'une lunette et d'un collimateur réglés à l'infini et fixés solidement sur un socle horizontal stable.

La lunette porte un diaphragme avec deux fils F, perpendiculaires entre eux et, au-dessus, une glace transparente G, inclinée à 45°. L'axe de la lunette est vertical. Le socle S porte trois pointes à vis, disposées en triangle et d'une manière déterminée; l'une d'elles seulement est fixe; on pose sur ces pointes la glace type T, dont les deux faces sont planes et parallèles.

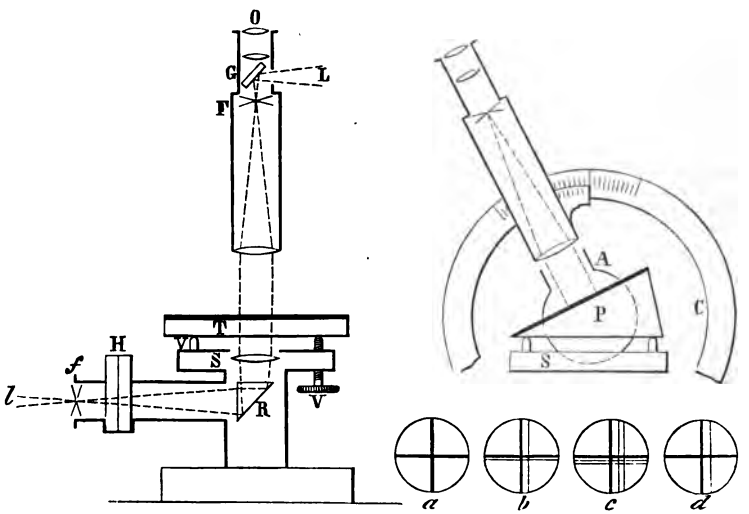
L'axe du collimateur est horizontal. Il est accompagné d'un prisme R à réflexion totale qui renvoie verticalement la lumière issue du collimateur. En H sont deux chariots croisés et un diaphragme avec deux fils *f* perpendiculaires entre eux.

Pour que l'appareil soit en état de servir, il faut régler l'axe de la lunette par rapport à celui du collimateur; pour cela, on éclaire les fils *f* au moyen d'une flamme ordinaire *l*, placée à $0^m,15$ environ, la lumière traverse le collimateur, d'abord horizontalement, puis sort verticalement en faisceau parallèle, traverse le

type, pénètre dans la lunette et vient former en F, sur les fils de cette dernière, une image des fils *f* du collimateur. Si le réglage est parfait, on verra l'apparence *a* (même figure); dans le cas contraire, on verra celle *b*; les fils F de la lunette sont noirs et centrés, et l'image des fils *f* du collimateur est excentrique; ils sont reconnaissables en ce qu'ils sont moins noirs. On agit alors sur les deux chariots H pour amener les fils en coïncidence et l'on retrouve l'apparence *a*.

Il faut aussi que le type T soit perpendiculaire à l'axe de la lu-

Fig. 2.



nette. Pour reconnaître si cette condition est remplie, on transporte la flamme en L, la lumière se réfléchit sur la glace G, traverse la lunette, sort en faisceau parallèle, se réfléchit sur *chacune* des deux faces du type T et revient, dans la lunette, former sur les fils F une image de ces derniers. On regarde en O : si le type est perpendiculaire à l'axe de la lunette, on a l'apparence *a*, sinon celle *b*; on agit alors sur les deux vis mobiles V du socle S; on commence par celle de gauche qui met les fils horizontaux seuls en coïncidence, puis, par celle de droite, qui agit sur les fils verticaux. La disposition des vis fait que ce second mouvement ne déplace pas les fils horizontaux : on opère ainsi rapidement et sans tâtonner.

Soit une glace à examiner par *réfraction;* on la place, soit sur les trois pointes, soit sur le type et l'on éclaire en *l*. On aura généralement l'apparence *b* qui indique, du premier coup d'œil, le sens et la grandeur de l'erreur de parallélisme. En tournant la glace horizontalement sur elle-même, on obtient l'apparence *d* ; l'erreur est alors à son maximum et se trouve dans le plan vertical qui passe par le fil horizontal. L'erreur (angulaire) est égale à 0,5 fois environ l'angle des deux surfaces.

Soit maintenant une glace n'ayant qu'une surface polie ; il s'agit de savoir si l'autre est préparée suffisamment *parallèle* pour la polir. On met alors la flamme en L, la surface polie étant en dessus ; la lumière agit par *réflexion* sur elle. En regardant en O et en tournant la pièce horizontalement sur elle-même, on obtient l'apparence *d*, l'ouvrier opticien voit où est l'erreur et mène son travail en conséquence ; il peut regarder souvent, car cela se fait vite et il n'y a rien à toucher ; c'est ainsi que le type T a été exécuté.

Les deux surfaces étant polies, j'ai eu l'idée de les examiner aussi par *réflexion*. En étudiant la marche des rayons réfléchis, on peut voir que l'erreur est ici 2,5 fois environ l'angle des deux surfaces ; cette méthode de vérification du parallélisme par *réflexion* est donc cinq fois aussi précise que celle par réfraction et lui est, par conséquent, bien préférable.

Dans le cas du non-parallélisme, on a l'apparence *c* que l'on ramène à celle *d* en tournant la glace horizontalement.

Appareil pour exécuter des prismes d'un angle déterminé quelconque.

On se sert de l'appareil précédent [*fig.* 2 (gauche)], dans lequel on enlève le support de la lunette pour le remplacer par un cercle divisé C [*fig.* 2 (droite)] ; une alidade A porte un support à bonnette dans laquelle entre la lunette précédente ; ce cercle est fixé solidement sur le socle S. L'axe de la lunette se meut parallèlement au limbe par construction.

Pour régler l'appareil, on met d'abord la lunette verticale, on serre la pince quand son vernier marque o et on le vérifie à la loupe. On place le type T sur les trois pointes et on le rend perpendiculaire à l'axe de la lunette, comme précédemment.

Proposons-nous de mesurer l'angle d'un prisme, soit achevé, soit en cours d'exécution, c'est-à-dire ayant une face polie (indiquée par un trait fort) et l'autre préparée pour le poli. On place cette dernière sur le type L (ou sur les trois pointes) et l'on fait tourner la lunette de manière à rendre son axe perpendiculaire à la face polie (il faut déplacer la lumière en conséquence). On a généralement l'apparence *b*; on fait coïncider les fils horizontaux en tournant un peu le prisme horizontalement, et les fils verticaux en tournant l'alidade A (au moyen de la vis tangente); lorsqu'ils coïncident, on lit la division au vernier ou bien on arrête le vernier à une division déterminée; l'opticien voit si le fil vertical *réfléchi* est à droite ou à gauche et il sait alors où il doit retoucher pour arriver à la coïncidence des fils. L'angle dont l'alidade a tourné est égal à celui du prisme; l'erreur indiquée par les fils est double de celle du prisme.

On peut opérer aussi par *réfraction* dans le cas d'un prisme biréfringent de Rochon, de Wollaston, etc., et mesurer successivement la déviation de chaque image avec la lumière ordinaire ou monochromatique, et exécuter avec précision des prismes donnant un dédoublement voulu.

Cet appareil peut encore servir dans beaucoup de cas. On peut, en effet, enlever le diaphragme à fils *f* du collimateur et le remplacer par une fente variable. Si l'on regarde en O, on voit une image de la fente, *nette* et *achromatique;* par conséquent, si l'on pose sur le type T un système optique composé quelconque: prismes de Nicol, de Foucault, biréfringents en quartz et en spath, etc., on jugera de suite de la *netteté* du système et de son achromatisme (les fils croisés sont préférables pour juger du centrage) et enfin, au moyen du tirage de l'oculaire et des fils F, on verra si le système est convexe ou concave et s'il présente quelque astigmatisme.

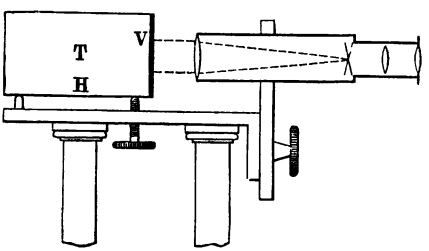
Appareil pour contrôler les surfaces perpendiculaires.

L'appareil est représenté (*fig.* 3) en coupe verticale. La lunette est horizontale et ses fils sont éclairés sur le côté; le socle porte trois pointes, mais une seule est mobile. Le type T comprend deux surfaces parallèles verticales, coupées par une surface hori-

zontale bien perpendiculaire. Pour régler l'appareil, on pose cette dernière sur les pointes. Si la lunette est perpendiculaire aux faces verticales, on aura l'apparence *a* (*fig.* 3), sinon celle *b*; on amènera alors les fils verticaux en coïncidence en tournant le type horizontalement, et les fils horizontaux en agissant sur la pointe mobile.

Soit un système optique ayant deux faces perpendiculaires; on désire vérifier si elles font bien entre elles un angle de 90°. Les deux surfaces peuvent être polies ou bien, et c'est le cas de l'exécution, une des faces est polie et l'autre seulement préparée; on pose cette dernière sur les pointes : la première sera verticale et perpendiculaire à la lunette. On aura alors généralement l'apparence *a* (*fig.* 3), on fera coïncider les fils verticaux en tournant la

Fig. 3.



pièce horizontalement, ce sont ici les fils *horizontaux* qui indiquent l'erreur; si l'angle est plus grand que 90°, le fil horizontal *réfléchi* sera en dessous de l'autre; si l'angle est plus petit, il sera en dessus et l'opticien voit où il doit toucher. L'erreur vue est double de celle de l'angle droit. Le type T se vérifie par lui-même en le retournant horizontalement de 180°.

Cet appareil a des applications nombreuses : pour faire les prismes à réflexion totale, pour faire les bases des prismes quelconques, simples ou composés, etc. On peut les finir chacun séparément de façon que, étant accouplés, en plus ou moins grand nombre, comme dans les spectroscopes à grande dispersion de M. Thollon, toutes les faces soient perpendiculaires à un même plan.

On peut, avec les trois derniers appareils, opérer sur des verres n'ayant aucune surface polie et même sur des surfaces *métal-*

liques; il suffit d'appliquer sur la surface qui doit réfléchir une glace parallèle que l'on fixe avec de la cire molle, après avoir essuyé les surfaces pour les faire bien plaquer. Cette disposition pourrait être utilisée dans la confection des calibres de précision dans des cas divers.

Tous ces appareils sont rustiques et les réglages très réduits. On peut les mettre instantanément au zéro; ils indiquent alors d'un coup d'œil et sans fatigue le sens de l'erreur et sa grandeur sans toucher à une vis.

Chaque appareil se contrôle par lui-même. Au moyen du retournement à 180°, on double encore toutes les erreurs déjà trouvées. Aussi, parmi les pièces à examiner au moyen de ces appareils, y en a-t-il peu qui n'indiquent pas d'erreur.

SÉANCE DU 20 AVRIL 1881.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Chappuis, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures.
Grezel (Louis), Professeur de Physique au Collège de Nantua.
Hardy (le Dr), Chef des travaux chimiques à l'Académie de Médecine.
Hélouis, Ingénieur à Colombes (Seine).
Le Cordier (Paul), Docteur ès sciences, à Paris.
Nachet (jeune), Constructeur d'instruments d'optique, à Paris.
Offret, Professeur au Lycée de Brest.
Vion, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

M. Foussereau expose ses recherches sur la résistance électrique du verre. Il a fait usage de tubes à réaction fermés par un bout. L'électricité d'une pile de 3 à 100 éléments Volta traversait l'épaisseur de ces tubes et était recueillie dans un condensateur de capacité connue. On mesurait le temps nécessaire pour communiquer aux armatures de ce condensateur une différence de potentiel déterminée, que l'on observait au moyen d'un électromètre Lippmann relié aux deux armatures. Les deux faces du tube étaient baignées jusqu'à un même niveau par deux masses d'un même liquide conducteur, qui était l'acide sulfurique concentré aux basses tempé-

ratures et le mercure au-dessus de 80°. Des précautions scrupuleuses ont été prises pour éviter toute conductibilité superficielle.

Les expériences ont pu être ainsi poussées, pour certains verres, jusqu'à —17°. Le verre de Bohême a été trouvé de 5 à 20 fois plus conducteur que le verre ordinaire. Le cristal, au contraire, est de 1000 à 1500 fois plus isolant que ce dernier.

Le phénomène de la trempe exerce une influence très considérable sur la résistance d'un verre déterminé. L'auteur a étudié cette influence en faisant subir un recuit plus ou moins énergique à des échantillons de verre et de cristal trempés. Leurs résistances aux mêmes températures augmentent par l'action du recuit jusqu'à devenir, dans certains cas, 11 fois plus considérables. Cette augmentation de résistance s'accentue de plus en plus à mesure que le recuit devient plus énergique et plus complet. Elle continue de se produire pendant quelque temps après le recuit, le verre ne prenant pas immédiatement son équilibre moléculaire définitif. Au contraire, un verre, trempé ou non, qui n'a pas été échauffé depuis longtemps conserve une résistance invariable. Dans ces diverses expériences, des échantillons des mêmes verres non trempés ont servi de termes de comparaison.

M. E. Hospitalier présente à la Société le résultat de ses expériences sur les piles au bichromate de M. G. Trouvé.

Chaque batterie se compose de 6 éléments en tension, formés chacun d'un zinc entre deux charbons. La solution qui représente la charge d'une batterie se compose de :

Eau	8^{kg}
Bichromate de potasse pulvérisé	1,2
Acide sulfurique	3,6

Deux batteries montées en tension et déchargées sur 6 lampes Swan en dérivation ont fourni pendant la première phase un courant constant de 8^{amp} pendant quatre heures un quart, et, pendant la seconde phase, de une heure vingt-cinq minutes, un courant régulièrement décroissant de 8^{amp} à 5^{amp}. La quantité totale d'électricité fournie a été de 156000 coulombs et la consommation totale de zinc de 1463^{gr}, soit en moyenne 122^{gr} par élément.

L'énergie électrique totale disponible dans le circuit extérieur a été de 253350^{kgm}, soit très sensiblement un cheval-heure.

Le poids de chaque batterie chargée à neuf est de $33^{kg},4$. Sous un poids total de 67^{kg}, les deux batteries représentent une somme d'énergie électrique totale disponible sensiblement égale à un cheval-heure ou 270000^{kgm}, a raison d'un débit constant de $13^{kgm},5$ par seconde pendant quatre heures un quart et d'un débit moyen de 9^{kgm} par seconde pendant une heure vingt-cinq minutes.

M. Pilleux présente quelques considérations théoriques sur le mouvement des atomes :

La loi de Gay-Lussac n'est pas absolument exacte, c'est-à-dire que le rap-

port des densités des gaz n'est pas absolument égal au rapport de leurs équivalents chimiques.

Comme le coefficient de dilatation des gaz n'est pas rigoureusement le même pour tous les gaz et que, par conséquent, le rapport des densités des gaz varie avec la température, M. Pilleux a pensé que l'on pourrait trouver un degré de température où la loi fût exacte.

Il a essayé du degré de température où la combinaison chimique a lieu, en prenant, pour commencer, 600° au-dessus de zéro, parce que, à cette température, la combinaison est spontanée pour presque tous les mélanges gazeux susceptibles de se combiner chimiquement.

La loi s'est trouvée encore plus en défaut, et cela se comprend.

A la température ordinaire, *c'est pour les gaz les plus denses que la loi est le plus inexacte.*

La densité de ces gaz est toujours trop faible pour être dans le rapport de l'équivalent chimique; mais, *a fortiori,* vers 600° au-dessus de zéro, puisque les gaz les plus denses sont ceux qui ont le plus *fort* coefficient de dilatation.

Diverses considérations tirées de la théorie mécanique de la chaleur ont amené M. Pilleux à penser que la loi de Gay-Lussac ne pouvait pas être théoriquement exacte et que, en appelant V le volume d'un gaz, V' celui d'un autre gaz susceptible de s'unir chimiquement avec V sans résidu, et contenant par conséquent autant d'atomes que V, autrement dit un équivalent chimique; D la densité du premier gaz par rapport à l'eau à la température où devra avoir lieu spontanément la combinaison dont il s'agit, et D' celle du deuxième gaz dans les mêmes conditions, on devrait avoir

$$V' = V \frac{K - D}{K - D'},$$

K étant une constante dont la valeur numérique est très voisine de 30°.

La vérification de cette loi est facile, les éléments nécessaires, c'est-à-dire les densités, les coefficients de dilatation et les équivalents chimiques se trouvant dans tous les livres de Physique.

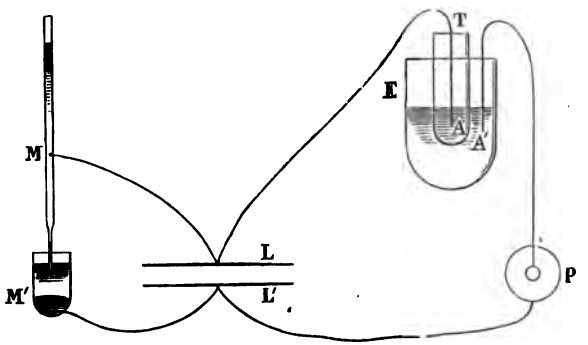
Sur la résistance électrique du verre aux basses températures; par M. Foussereau.

I. *Disposition des expériences.* — Quand on veut déterminer la résistance de substances très isolantes, comme le verre, la nécessité de maintenir les surfaces dans un état de siccité parfaite empêche, en général, d'opérer sur des échantillons d'une grande dimension. Il est donc indispensable d'employer une méthode très sensible. Dans l'état actuel de la Science, celles qui sont fon-

dées sur l'usage du galvanomètre ne permettent pas d'apprécier la conductibilité du verre aux basses températures, les résistances effectives qu'il s'agit de mesurer directement atteignant quelquefois 15 ou 20 millions de mégohms. Mais, si le courant qui traverse une pareille résistance ne peut communiquer à une aiguille aimantée une déviation perceptible, il est néanmoins capable de fournir à la longue une quantité d'électricité suffisante pour donner aux armatures d'un condensateur de capacité connue une différence de potentiel appréciable. Un électromètre sensible pourra mesurer cette différence et donner ainsi une mesure de la résistance cherchée.

Mes expériences ont été exécutées avec des tubes à réaction,

Fig. 1.



fermés par un bout, de diamètre de 1 à 2^{cm} et d'épaisseur bien régulière. Le tube T contenant jusqu'à une hauteur de 3 à 6^{cm}, un liquide conducteur A plongeait dans une éprouvette E, contenant une seconde masse A′ du même liquide jusqu'à la même hauteur. Le pôle positif d'une pile P était mis en communication avec le liquide extérieur A′. Le liquide intérieur A communiquait, d'une part, avec des armatures L d'un condensateur LL′, d'autre part avec le mercure supérieur M de l'électromètre. Le pôle négatif de la pile était relié au mercure inférieur M′ et à la seconde armature L′ du condensateur. L'électricité de la pile traversait donc l'épaisseur du tube de verre pour se rendre de là dans le condensateur et l'électromètre qui se chargeaient simultanément.

Le mercure de l'électromètre se déplaçait plus ou moins lente-

ment vers la sortie et l'on arrêtait l'expérience quand ce déplacement avait atteint une grandeur déterminée par un micromètre et correspondant à une différence de potentiel que l'on avait préalablement observée. La durée de la charge était mesurée dans chaque expérience par les battements d'un métronome.

La pile employée était une pile de Volta de 3 à 100 éléments. La différence de potentiel développée dans le condensateur et l'électromètre était, en général, voisine de $\frac{1^{\text{volt}}}{100}$, ce qui est largement suffisant, puisque l'électromètre Lippmann est sensible à $\frac{1}{10000}$ de volt. Cette variation de potentiel était donc négligeable par rapport à la force électromotrice de la pile. La capacité du condensateur employé était ordinairement 1 microfarad. Le condensateur et la pile étaient portés sur des supports isolants pour éviter toute communication indirecte d'électricité à l'électromètre.

Quand on opérait à des températures ne dépassant pas 60° ou 80°, le liquide conducteur était de l'acide sulfurique concentré qui servait en même temps de matière desséchante. Les deux masses d'acide étaient reliées aux autres parties du circuit par des fils de platine contenus dans des tubes capillaires en verre jusqu'au voisinage de leur extrémité. Ces fils étaient ainsi complètement isolés des parois des vases. Tout cet appareil était entouré d'un manchon de verre qui ne présentait que les ouvertures nécessaires au passage des fils conducteurs.

On ne commençait les expériences que plusieurs heures après l'installation. L'air intérieur du manchon et les parois des vases étaient alors bien desséchés. On le reconnaît à la concordance parfaite des résultats obtenus aux mêmes températures à des jours différents. J'ai encore obtenu des résultats identiques en faisant varier dans le rapport de 10 à 1 la hauteur de la paroi libre du tube qui surmontait les deux couches liquides, ce qui n'aurait pu avoir lieu dans l'hypothèse d'une conductibilité superficielle.

Pour opérer aux températures supérieures à 80°, où l'on n'a plus à craindre l'humidité superficielle, j'ai reconnu qu'il était avantageux de remplacer l'acide sulfurique par du mercure, parce que l'acide commence, à ces températures, à se volatiliser assez vite pour déposer pendant la durée de l'expérience une couche

liquide continue sur les parois supérieures au liquide. Je me suis, du reste, assuré de l'identité des résultats obtenus en opérant successivement avec ces deux liquides entre 40° et 80°.

Pour obtenir une température uniforme et lentement variable, on installe la base de l'appareil jusqu'à un niveau notablement supérieur à celui du liquide dans un bain d'huile entouré lui-même d'un bain de sable qu'on peut échauffer progressivement. Pour les températures inférieures à la température ambiante, on remplace le bain de sable par un mélange réfrigérant. Certains verres ont pu être ainsi étudiés jusqu'à — 17°.

II. *Détermination de la résistance.* — Désignons par

E la force électromotrice de la pile;
ρ_1 et ρ_2 les rayons intérieur et extérieur du tube;
h la hauteur du liquide;
r la résistance spécifique du verre par centimètre cube;
c la capacité du condensateur et c' celle de l'électromètre;
e la différence de potentiel communiquée à l'électromètre.

La quantité d'électricité transmise dans le temps θ à travers le tube de verre cylindrique est

$$\frac{2\pi h E}{r \log \text{nép} \frac{\rho_2}{\rho_1}} \theta.$$

D'autre part, cette quantité étant égale à la charge $(c + c')e$, reçue par le condensateur et l'électromètre, on en déduit

$$r = \frac{2\pi h E}{(c + c')e \log \text{nép} \frac{\rho_2}{\rho_1}} \theta.$$

Pour calculer la résistance, il faut connaître la capacité ajoutée au condensateur par l'électromètre. Cette capacité est toujours assez grande avec l'électromètre Lippmann.

On commençait par déterminer la capacité de l'électromètre après une minute de charge. Pour cela, on chargeait le condensateur seul pendant une minute à une différence de potentiel connue V, puis on mettait ses armatures en communication avec les deux mercures de l'électromètre pendant une autre minute. L'in-

dication de ce dernier étant notée, on cherchait ensuite directement à quelle valeur V′ du potentiel elle correspondait. La quantité d'électricité étant restée la même, on a la relation

$$cV = (c + c')V',$$

d'où l'on tire

$$c' = c\,\frac{V - V'}{V'}.$$

D'autres expériences ont été exécutées en disposant en cascade le condensateur et l'électromètre. On développe pendant une minute, entre les deux extrémités de la cascade, une différence électrique totale V_1 et l'on observe, dans l'électromètre, une différence plus petite V_2. Il est facile de voir que ces quantités sont liées par la relation

$$c' = c\,\frac{V_1 - V_2}{V_2}.$$

Ces deux méthodes donnent très sensiblement le même résultat moyen $0^{mf},24$. Les écarts entre les expériences faites à des jours différents ne dépassent pas $0^{mf},01$, quand on a soin, avant chaque séance, de faire rentrer un instant le mercure de l'électromètre pour le mouiller sur une longueur déterminée.

Mais la capacité de l'électromètre augmente lentement avec le temps de charge, grâce à une dépolarisation progressive. La capacité du condensateur, moins sujette à variation, ne reste pas non plus absolument constante. Il importe d'éliminer ces causes d'erreur. Pour étudier les variations de la capacité totale $c + c' = C$, on la charge pendant une minute à un potentiel U_1, puis on observe les positions de la colonne mercurielle de l'électromètre après 2, 3, ... minutes. On détermine les potentiels correspondants U_2, U_3, ... Désignons par C_1, C_2, C_3, ... les capacités totales aux mêmes instants ; on a

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 = C_3 U_3 = \ldots,$$

et, puisque C_1 vaut $1^{mf},24$, on en déduira facilement C_2, C_3, ... Un procédé analogue a été employé pour les durées de charge inférieures à une minute. On peut donc dresser une Table rationnelle des corrections à apporter à la capacité suivant la durée de

la charge. Après 2 minutes de charge, par exemple, la capacité totale s'est élevée de $1^{mf},24$ à $1^{mf},28$; après 3 minutes, à $1^{mf},31$; après 30 secondes, elle n'est que $1^{mf},21$.

Nous avons supposé, dans le calcul de la résistance, que le verre traversé présentait la forme cylindrique. Il n'en est pas ainsi pour le fond du tube, dont l'épaisseur ne peut être, du reste, supposée uniforme. Pour éliminer cette incertitude, on opérait plusieurs fois sur le même tube aux mêmes températures, en changeant la hauteur des masses liquides conductrices.

Désignons par l et l' les hauteurs des parties cylindriques occupées par le liquide dans deux expériences différentes, et par x la hauteur d'un tube cylindrique de même rayon et de même épaisseur, dont la conductibilité serait égale à celle du fond. Les quantités d'électricité transmises dans l'unité de temps à la même température sont entre elles dans le rapport $\frac{l+x}{l'+x}$. On peut donc déterminer x et, par suite, la hauteur $h = l + x$ à introduire dans la formule.

Au moment où l'on établit le circuit, le tube de verre se charge d'abord comme un condensateur. Ses couches intérieures absorbent ensuite peu à peu une certaine charge électrique nécessaire pour les amener à l'état définitif qui correspond à la chute de potentiel établie entre les faces. Pendant cet état variable, plus ou moins prolongé suivant la nature du verre, mais ne dépassant jamais quelques minutes, les effets de la charge du verre se superposent à ceux de la conductibilité. On commence les observations quand le temps de charge de l'électromètre a pris une valeur constante.

J'ai observé aussi qu'un échauffement rapide détermine un accroissement apparent de conductibilité plus grand que l'accroissement normal; de même un abaissement de température rapide donne naissance à une résistance exagérée. Ces phénomènes sont d'autant plus accentués que les variations de température sont plus rapides. Ils disparaissent quand on maintient quelque temps la même température et ne se produisent pas sensiblement si les variations de température sont lentes. Ces perturbations paraissent dues aux variations que subit le pouvoir diélectrique du verre sous l'influence de la température. Pour les éviter, on a exclusive-

ment conservé les observations faites pendant le refroidissement, qu'on peut toujours rendre très lent dans les conditions de l'expérience. Ces observations fournissent des résultats parfaitement concordants, ce qui n'a pas toujours lieu pendant la période plus rapide des températures ascendantes.

Le 7 juillet 1882, un échantillon de verre a été porté en 27 minutes de 27° à 40°; puis, après avoir atteint le maximum de 41°, a mis $2^h 2^m$ à redescendre de 40° à 27°. Dans ces conditions, on a obtenu les résultats suivants :

TABLEAU I.

	DURÉE DE LA CHARGE.	
	Période	
Température.	ascendante.	descendante.
31°	88	108
33	73	85
35	60	66
37	49	54
40	36	37

A mesure qu'on se rapproche du maximum de température, l'ascension devient plus lente et les résultats, d'abord très différents de ceux de la période descendante, s'en rapprochent de plus en plus.

III. *Résultats : Mesures absolues.* — Mes expériences ont eu d'abord pour but des mesures absolues sur la résistance des principales variétés de verre. J'ai ensuite étudié l'influence de la trempe sur la conductibilité d'un même verre.

L'élévation de température produit toujours un accroissement très rapide de conductibilité. Les fonctions exponentielles sont celles qui se prêtent le mieux à la représentation analytique des résultats. Les formules à deux termes sont insuffisantes, parce qu'aux basses températures l'accroissement de résistance est, en général, plus rapide qu'aux températures plus élevées. On a donc représenté les expériences par des expressions de la forme

$$\log x = a - bt + ct^2.$$

Quand on opère sur divers échantillons d'une même espèce de

verre, les résultats ne diffèrent pas plus entre eux que les résultats fournis par un même tube, pourvu que ces échantillons n'aient subi aucune trempe ou aient été soigneusement recuits. Quand la composition se modifie, on voit, en général, la résistance augmenter si l'on passe d'un verre à un autre de la même classe et de densité plus forte. Mais, d'une manière générale, les verres à base de plomb sont beaucoup plus isolants que les verres à base de chaux.

Les résistances de ces deux classes de verre aux mêmes températures sont, entre elles, dans des rapports de l'ordre de $\frac{1000}{1}$. Le verre de Bohême est, au contraire, en général, de 5 à 20 fois plus conducteur que le verre ordinaire.

TABLEAU II.

Températures.	Verre de Bohême. Densité : 2,431.	Verre ordinaire. Densité : 2,539.	Cristal. Densité : 2,933.
— 17°	»	7970	»
— 15	330	6330	»
— 10	191	3530	»
— 5	109	1730	»
0	59	990	»
5	33	501	»
10	18,6	284	»
15	10,9	153	»
20	6,62	91	»
25	4,04	49	»
30	2,20	27,4	»
35	1,37	14,5	»
40	0,811	8,46	»
45	0,509	4,34	6650
50	0,299	2,39	3420
55	»	1,36	1920
60	»	0,784	988
65	»	»	515
70	»	»	288
75	»	»	161
80	»	»	98
85	»	»	65
90	»	»	39,6
95	»	»	25,1
100	»	»	16,6
105	»	»	11,6

Le Tableau II résume les observations faites sur des échantillons de chacun de ces trois verres. Les nombres qui y sont consignés représentent les résistances observées par centimètre cube en millions de mégohms.

Les résistances les plus considérables, en particulier celles du verre ordinaire aux températures inférieures à 0°, ont été mesurées avec l'électromètre seul, sans l'assistance d'un condensateur. Malgré cette diminution dans la capacité réceptrice, le temps de charge atteint plusieurs minutes. Ces résultats doivent donc être considérés comme donnant une approximation plus grossière que les autres. La résistance du verre à —17° représente à peu près deux fois celle d'un fil de cuivre de 1^{mmq} de section, allant de la Terre à Sirius.

Pour les résistances des verres à base de chaux à partir de 10°, et du cristal, à partir de 70° environ, les résultats représentent fidèlement la marche du phénomène. L'approximation pouvant atteindre aisément $\frac{1}{10}$ des chiffres obtenus, alors que la variation de résistance pour 1° C. dépasse cette fraction, on peut dire que la température correspondant à chaque résistance est évaluée à 1° près.

Les résultats obtenus sur le verre ordinaire peuvent être représentés par la formule

$$\log x = 3,00507 - 0,052664 \times t + 0,00000373 \times t^2.$$

Le terme du second degré étant très petit, les valeurs de $\log x$ sont représentées par une ligne peu différente d'une droite. La résistance varie à peu près de $\frac{1}{9}$ de sa valeur par degré de température.

La formule est, pour le verre de Bohême,

$$\log x = 1,78300 - 0,049530 \times t + 0,0000711 \times t^2$$

et, pour le cristal,

$$\log x = 7,22370 - 0,088014 \times t + 0,00028072 \times t^2.$$

IV. *Influence de la trempe.* — La résistance d'un échantillon de verre ne reste invariable que s'il conserve rigoureusement le même état moléculaire. Toute modification de cet état entraîne des altérations considérables dans les propriétés électriques. Ces

altérations sont surtout sensibles quand on fait subir au verre une trempe plus ou moins énergique.

Mes expériences à ce sujet ont porté sur le verre ordinaire et sur le cristal trempés. Les échantillons observés étaient de petits gobelets cylindriques ou légèrement coniques, de $0^m,05$ à $0^m,06$ de hauteur. Après une première série de mesures, on les chauffait dans un bain de sable pendant un certain temps à une température plus ou moins élevée, puis on les laissait se refroidir lentement, et l'on répétait sur ces objets une nouvelle série de mesures aux mêmes températures que la première. Comme on ne se préoccupe pas ici de déterminer la résistance en valeur absolue, nous pouvons prendre pour mesure le temps nécessaire pour charger le condensateur à un potentiel déterminé.

Les expériences ont conduit aux résultats suivants :

1° La trempe diminue dans un rapport considérable la résistance électrique des différents verres.

Le Tableau III se rapporte à un échantillon de verre trempé à base de chaux que l'on a recuit pendant 6 heures à 500°.

TABLEAU III.

Force électromotrice : $3^{volts},00$.

Durée de la charge en $\frac{\text{minut.}}{100}$,		
Températures.	avant le recuit. *a*.	après le recuit. *b*.	Rapport $\frac{b}{a}$.
35°	168	380	2,26
40	92	210	2,28
45	53	119	2,25
50	31	70	2,26
55	19	44	2,32
60	11,5	27	2,35
65	7,5	17	2,27
70	5	11	2,20
75	3	7	2,33
80	2	4,5	2,25

Ainsi, par suite du recuit, la résistance primitive a été multipliée par 2,3.

Pour le cristal trempé, les variations sont encore plus frap-

pantes. Le Tableau IV est relatif à deux échantillons de cristal : l'un trempé, l'autre non trempé, provenant de la même cuite et du même creuset et recuits ensemble dans les conditions précédentes (¹).

TABLEAU IV.

Force électromotrice : 100^{volts},0.

	Durées de la charge en $\frac{\text{minut.}}{100}$					
	Cristal trempé			Cristal non trempé		
Températures.	avant le recuit. a.	après le recuit. b.	Rapport $\frac{b}{a}$.	avant le recuit. a'.	après le recuit. b'.	Rapport $\frac{b'}{a'}$.
100°	90	»	»	»	»	»
105	53	»	»	»	»	»
110	32	360	11,2	310	276	0,89
115	19	209	11	174	161	0,93
120	12	130	10,8	104	97	0,93
125	7,5	77	10,3	65	58	0,89
130	4,5	48	10,7	40	36	0,90
135	»	30	»	24	22	0,92
140	»	19	»	15	14	0,93
145	»	12	»	10	9	0,90
150	»	7,5	»	6	5,5	0,92

Ainsi, tandis que la résistance est devenue onze fois plus grande pour le cristal trempé, elle est restée presque stationnaire et a même légèrement diminué pour le cristal non trempé, comme si ce dernier avait pris une trempe très légère par suite de son échauffement.

D'autre part, les résistances des deux échantillons sont devenues sensiblement identiques après le recuit. La différence assez

(¹) Les éléments suivants sont entrés dans la composition de ce cristal :

	Parties.
Silice	100
Minium	62
Nitrate de potasse	9
Potasse	20
Soude	10
Bioxyde de manganèse	0,090
Arsenic	0,100

légère qu'on observe encore tient à ce que les parois de l'échantillon trempé étaient un peu plus épaisses que celles de l'autre.

2° Un recuit modéré capable de faire disparaître partiellement l'élasticité due à la trempe ne détruit qu'en partie son action sur la résistance électrique. Le Tableau V fait connaître les résultats des expériences sur un échantillon de cristal trempé qui a été porté à 260° dans un premier recuit, puis chauffé de nouveau à 450° et maintenu pendant 2 heures à cette température.

TABLEAU V.

	Avant le recuit.						
	1re série.	2e série.	Rapport $\frac{b}{a}$.	Chauffé à 260°.	Rapport $\frac{c}{a}$.	Chauffé à 450°.	Rapport $\frac{d}{a}$.
Températures.	*a.*	*b.*		*c.*		*d.*	
90°	130	133	1,02	245	1,88	»	»
95	78	79	1,01	140	1,79	»	»
100	46	48	1,04	81	1,76	355	7,7
105	27,5	28	1,02	50	1,82	210	7,6
110	17	18	1,06	29,5	1,74	122	7,2
115	10,5	11	1,05	18,5	1,76	72	6,9
120	6,5	7	1,08	12	1,85	45	6,9
125	»	»	»	7,5	»	29	»
130	»	»	»	4,5	»	19	»
135	»	»	»	»	»	12	»
140	»	»	»	»	»	7,5	»

Entre les deux premières séries il n'y a pas eu de recuit. La résistance est demeurée sensiblement invariable. La légère augmentation de résistance signalée, si elle n'est pas due entièrement aux erreurs d'observation, peut être attribuée à un premier recuit très faible, le vase ayant été une première fois chauffé à 120°. Après l'échauffement à 260°, on observe, au contraire, un accroissement notable de la résistance qui devient en moyenne 1,8 de sa valeur primitive. Après l'échauffement à 450°, la résistance s'est accrue dans le rapport beaucoup plus considérable de 1 à 7,2.

3° La résistance d'un verre récemment recuit continue d'augmenter lentement pendant quelque temps, comme s'il se rapprochait peu à peu d'un état d'équilibre définitif.

Les résultats suivants (Tableau VI) concernent un vase de cristal primitivement trempé, puis recuit le 28 novembre 1882, à 400°.

TABLEAU VI.

Températures.	1re série 29 nov. *a.*	2e série 29 nov. *b.*	3e série 30 nov. *c.*	4e série 7 déc. *d.*	Rapport $\frac{d}{a}$.
105°	59	63	»	92	1,56
110	36	38	41	54	1,50
116	20	21	22	29,5	1,47
120	13	14	15	20	1,54

Au bout de neuf jours, la résistance du vase recuit s'est donc accrue de la moitié de sa valeur initiale, le travail moléculaire ayant continué de s'effectuer.

TABLEAU VII.

Températures.	1re série. 11 déc. 1882.	2e série. 1er février 1883.
90°	73	70
95	42	42
100	26	25
105	16	16
110	10	10
115	6	6,5
120	1	4

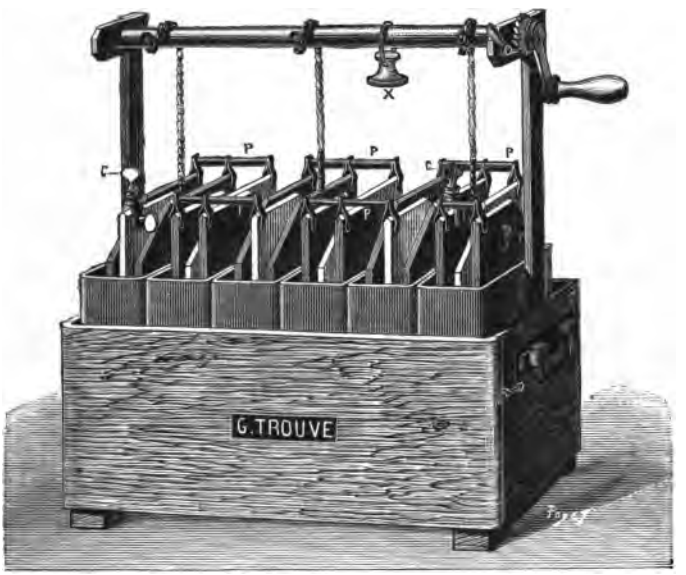
4° La résistance d'un verre trempé ou non qui n'a pas été chauffé depuis longtemps demeure invariable. En ce qui concerne les verres non trempés, ce fait est établi par la concordance des résultats obtenus sur les diverses variétés de verre. Le Tableau VII donne les résultats fournis par un même vase de cristal trempé, à cinquante-deux jours de distance.

De l'ensemble des résultats fournis par ces recherches, on peut conclure, au point de vue pratique, que les meilleurs isolateurs en verre sont donnés par les verres à base de plomb, et qu'il conviendra de recuire avec beaucoup de soin les pièces qui constituent ces isolateurs.

Les piles au bichromate de potasse de M. G. Trouvé. — Résultats d'expériences faites par M. Hospitalier *sur deux batteries de six éléments.*

Chaque batterie de 6 éléments se compose (*fig.* 1) d'une auge en chêne garnie de six cuvettes rectangulaires en ébonite, qui contiennent le liquide de chaque élément.

Les zincs et les charbons, reliés entre eux par des pinces mobiles, sont montés sur un treuil qui permet de faire varier à volonté leur immersion dans le liquide et de régler le débit en plongeant plus ou moins les éléments, c'est-à-dire en faisant varier la résistance intérieure de la batterie et sa surface active. Enfin, un



arrêt en bois empêche les éléments de sortir complètement des cuves; en supprimant cet arrêt, en le poussant de côté, la hauteur du treuil permet de les rendre absolument indépendants, de manière à vider ou à remplir les cuves en ébonite. La face antérieure de l'auge est munie, à cet effet, d'une charnière, qui permet dès lors de l'ouvrir et de sortir les cuvettes sans déranger les éléments.

Les éléments sont formés d'une lame de zinc et de deux charbons cuivrés galvaniquement à leur partie supérieure. Le zinc présente une encoche qui sert à le fixer à l'axe métallique recouvert de caoutchouc qui supporte les éléments. Cette disposition permet de déplacer très rapidement les zincs pour les amalgamer ou les remplacer.

La composition du liquide pour une batterie de six éléments est la suivante :

	kgr
Eau	8,0
Bichromate de potasse pulvérisé	1,2
Acide sulfurique	3,6
Total	12,8

La solution renferme 150gr de bichromate par litre d'eau au lieu de 100gr, comme dans la solution de Poggendorff.

Pour un débit plus rapide, M. Trouvé augmente encore la quantité de bichromate et dit parvenir à faire dissoudre 200 et jusqu'à 250gr de bichromate de potasse par litre d'eau.

Voici comment M. Trouvé prépare la solution :

Il jette dans de l'eau du bichromate de potasse *en poudre*, à raison de 150gr de ce sel par litre d'eau ; après avoir agité, il ajoute en versant en *mince filet* et *très lentement* jusqu'à 450gr d'acide sulfurique par litre, soit un quart en volume en continuant d'agiter ; le mélange liquide s'échauffe peu à peu et le bichromate, une fois dissous, reste limpide et ne dépose que par cristallisation en se refroidissant.

La préparation demande de huit à dix minutes. Il faut avoir bien soin de ne pas faire usage d'un agitateur en bois qui serait rapidement carbonisé en épuisant inutilement une partie de la solution.

Le poids moyen d'une batterie de 6 éléments se répartit ainsi :

	kgr
Six zincs	7,680
Douze charbons	5,400
Six cuvettes en ébonite	1,620
Contacts	0,600
Boîte en chêne	3,000
Montants en fer	2,300
Liquide	12,800
Poids total	33,400

Soit 67gr environ pour les deux batteries.

Résultats des expériences. — Les 12 éléments montés en tension ont été déchargés sur 6 lampes Swan en dérivation.

Le débit a été réglé en manœuvrant le treuil de chaque batterie de manière à maintenir un courant constant de 8 ampères pendant quatre heures un quart. Au moment de l'immersion, le coup de fouet dû à la grande force électromotrice initiale de chaque élément a fourni un courant de 12 ampères, bien que les zincs ne fussent plongés que de $0^m,02$ environ. Après quelques minutes, le courant est revenu à son intensité normale de 8 ampères. Un léger échauffement du liquide a ensuite provoqué une légère augmentation du débit, qui est redevenu normal quinze minutes après la mise en marche. La pile a fonctionné dans ces conditions pendant une heure et demie sans qu'on ait dû abaisser les zincs. A partir de ce moment, on a compensé l'affaiblissement du débit en augmentant graduellement la surface immergée. Les variations n'ont jamais dépassé un demi-ampère et le courant moyen a été très soigneusement maintenu à 8 ampères pendant quatre heures un quart, temps après lequel les zincs se trouvaient complètement immergés et plongeaient de $0^m,15$ environ dans chaque élément. A partir de ce moment, la décroissance a été très régulière et l'expérience arrêtée en soulevant les zincs et les retirant complètement du liquide lorsque le courant a atteint 5 ampères. La décharge se divise donc en deux phases :

Première phase. — Débit maintenu constant à 8 ampères pendant quatre heures un quart.

Deuxième phase. — Débit régulièrement décroissant de 8 à 5 ampères pendant une heure et vingt-cinq minutes.

1° *Phase constante.*

Différence de potentiel aux bornes des lampes....	$14^{volts},15$
» » des batteries...	$16^{volts},70$
Intensité du courant.....	8^{amp}
Débit, par seconde, dans le circuit extérieur.....	$133^{watts},6$
» » »	$13^{kgm},5$
Durée de la phase constante.....	$15\,300^{s}$
Quantité d'électricité fournie.....	$122\,400^{coul}$
Energie disponible dans le circuit extérieur.....	$206\,550^{kgm}$

2° *Phase décroissante.*

Pendant cette seconde phase, le courant moyen a été de

$6^{amp},55$ pendant une heure vingt-cinq minutes ou 5100^{s} et l'énergie électrique moyenne disponible dans le circuit extérieur de 9^{kgm} par seconde.

Travail total.

Lorsqu'on totalise les deux phases qui représentent le débit réel dans les conditions de l'expérience, on trouve les résultats suivants :

Quantité totale d'électricité fournie.....	$456\,000^{coul}$
Energie totale disponible.....	$253\,350^{kgm}$

Le cheval-heure étant égal à $270\,000^{kgm}$, ces chiffres montrent que les deux batteries ont fourni ensemble 0,96 de cheval-heure, soit sensiblement un demi-cheval-heure par batterie de 6 éléments.

Cinq batteries de 6 éléments, soit 30 éléments en tension, suffiraient donc pour alimenter une lampe à arc brûlant des charbons de 9^{mm} de diamètre avec un courant de 7 ampères et 40 volts de différence de potentiel aux bornes de la lampe, pendant plus de cinq heures.

Consommation du zinc. — Les zincs pesés avant et après l'expérience ont indiqué une consommation de :

Pour la première batterie.....	751^{gr}
Pour la seconde.....	712
Total.....	1465

Soit en moyenne 122^{gr} par élément.

La consommation *minima* a été de 105^{gr} et la consommation *maxima* de 133^{gr}. La consommation théorique, déduite de la quantité d'électricité et des équivalents électrochimiques, est de 53^{gr} par élément ou 636^{gr} pour les deux batteries.

Il résulte de ces expériences que deux batteries Trouvé de 6 éléments chacune, chargées à *neuf*, représentent une énergie électrique *disponible* de 1 cheval-heure ou $270\,000^{kgm}$, sous un poids qui ne dépasse pas 67^{kg} (1).

(1) Il importe de faire remarquer ici qu'aucune disposition n'a été prise au point de vue de la légèreté, et qu'il serait facile de réduire ce poids à 50^{kg}. Ce chiffre est inférieur à ce que les accumulateurs ont pu fournir jusqu'à présent sous le même poids.

La consommation est représentée par les chiffres suivants :

Zinc	1463 gr
Bichromate de potasse	2400
Acide sulfurique	7200

Ces chiffres permettent de calculer facilement quel est le prix du cheval-heure d'énergie électrique disponible lorsqu'on se place dans les conditions moyennes de débit dont les résultats sont consignés ci-dessus.

SÉANCE DU 4 MAI 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Parisse (E.), ingénieur des arts et manufactures, à Paris.
Pilleux, à Paris.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. *Delaurier* portant pour titre : *Nouvelle théorie de la cause de la production de l'électricité dans les piles hydro et thermo-électriques.*

M. Dufet expose les résultats de ses expériences sur la variation de l'indice de réfraction de l'eau sous l'influence de la température. Il observe le déplacement des franges de Talbot produites par une lame de verre de Saint-Gobain ou de quartz placée dans une auge pleine d'eau qui se refroidit lentement. On déduit de ces expériences la dérivée par rapport à la température de la différence des indices de la lame et de l'eau; dans le cas du verre, dont l'indice pour la raie D ne varie pas sensiblement avec la température, on obtient ainsi la variation d'indice de l'eau. En retranchant ce résultat de celui obtenu avec le quartz, on a la variation d'indice du quartz et l'on retrouve ainsi très sensiblement le nombre obtenu par M. Fizeau.

Ces résultats sont confirmés par des mesures directes faites à l'aide d'un prisme de 90° plein d'eau, placé à l'incidence de déviation minima, et d'un prisme de 45° placé sous l'incidence normale.

M. Koenig expose à la Société le résultat de ses études sur les battements de deux sons simples.

Les battements se produisent quand le nombre de vibrations n du son le plus grave ne divise pas exactement le nombre de vibrations n' du son

le plus aigu. Il y a du reste deux séries de battements : le nombre m des battements de la première série (*battements inférieurs*) correspond au reste de la division de n' par $n(n' = hn + m)$; le nombre des battements m' de la seconde série (*battements inférieurs*) est égal à $n - m$:

$$[n' = (h + 1)n - m'].$$

Tout se passe donc comme si les battements étaient dus à la coexistence du son aigu n' et des deux harmoniques d'ordre n et $h + 1$ du son grave n entre lesquelles le son n' se trouve compris.

Quand le reste m est beaucoup plus petit que $\frac{n}{2}$, on n'entend que les battements inférieurs (m); quand, au contraire, m est plus grand que $\frac{n}{2}$, on n'entend que les battements supérieurs (m'); quand m s'approche de $\frac{n}{2}$, on entend les deux espèces de battements.

On peut observer ces battements jusqu'à $h = 8$ ou 10. Les deux espèces de battements se changent en son continu dès que leur nombre dépasse une certaine limite par seconde; cette limite est du reste la même que pour le nombre des impulsions qui fournissent un son primaire.

Quand les deux sons de battements (m et m') s'approchent de l'unisson, de l'octave ou de la douzième, ils battent comme le feraient deux sons primaires de même hauteur (*battements secondaires*). Si ces battements secondaires ont une intensité et une fréquence suffisantes, ils se changent en son continu, tout comme les battements primaires (*son de battements secondaires*).

M. Kœnig, par de nombreuses expériences, montre l'exactitude de sa théorie. Il fait voir aussi que les intermittences périodiques d'un son peuvent donner un son résultant, comme les impulsions et les battements : il en est encore de même pour un son qui varie périodiquement d'intensité.

Si les sons résultants présentent une intensité plus faible que les sons primaires dont ils proviennent, quoiqu'ils aient une amplitude de vibration plus grande, cela tient à ce que, à égalité d'amplitude, un son grave paraît moins intense qu'un son aigu.

Sur la variation des indices de réfraction de l'eau et du quartz, sous l'influence de la température; par M. H. Dufet.

M. Mascart [1] a montré tout le parti qu'on pouvait tirer des franges de Talbot, employées comme procédé différentiel pour la

---

[1] *Journ. de Phys.*, t. I, 1re série, p. 177. — *Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 617.

mesure des indices de réfraction. En voici une nouvelle application :

Un faisceau de rayons parallèles, émané d'un collimateur, traverse une cuve rectangulaire remplie de liquide. Au sein du liquide se trouve une lame à faces parallèles d'un solide, à travers laquelle passe la moitié du faisceau, limité par une fente de largeur convenable. En décomposant le faisceau par un prisme, on aperçoit les franges de Talbot. Elles se déplacent par un changement de température, et l'on peut déduire de ce déplacement la variation de la différence des indices du solide et du liquide. Soient S et L les indices du solide et du liquide, t et t' les températures qui correspondent au passage d'une frange devant le fil du réticule de la lunette pointée sur une raie de longueur d'onde λ, e l'épaisseur à 0° de la lame, μ son coefficient de dilatation pour la température $\frac{t+t'}{2}$; on a

$$e(1+\mu t)\,(S-L) = k\lambda,$$
$$e(1+\mu t')\,[S-L+\Delta(S-L)] = (k+1)\lambda,$$

équations entre lesquelles s'élimine k.

Comme il importe que le solide et le liquide soient à la même température, je n'ai pas écarté à l'aide de bilames les deux faisceaux interférents. Dans ces conditions, les variations de température du liquide et les défauts de planité des lames de verre qui ferment la cuve ne sauraient troubler les phénomènes d'interférence produits exclusivement par la lame solide et la lame liquide qui la continue.

Au lieu d'observer le passage des franges devant le fil du réticule, ce qui n'est que médiocrement exact, on observe leur passage sur les deux raies D_1 et D_2. Quand une frange obscure correspond au milieu d'une des raies du sodium, celle-ci est divisée en deux raies brillantes d'égale intensité; si la frange obscure est à égale distance des deux raies, on aperçoit dans leur intervalle une ou plusieurs franges de diffraction brillantes, symétriques par rapport aux deux raies; si enfin le milieu de leur intervalle correspond à une frange brillante du spectre, les deux raies sont bordées *extérieurement* de franges de diffraction également brillantes. Ces divers phénomènes sont très nets, et ne comportent

pas pour l'évaluation de la température une erreur de plus de 3 ou 4 centièmes de degré.

La température était déterminée à l'aide d'un excellent thermomètre, ayant autrefois servi à Despretz, dont le calibrage a été refait, et que j'ai comparé, grâce à l'obligeance de M. René Benoît, avec un des thermomètres-étalons du Bureau international des Poids et Mesures. Je crois pouvoir compter sur $\frac{1}{50}$ de degré.

Je construis ainsi une courbe, dont les ordonnées sont les différences de température produisant le passage d'une frange, et les abscisses les températures moyennes. De la courbe moyenne, je déduis, par un calcul facile, la dérivée par rapport à la température de la différence des deux indices.

Je ferai remarquer que ce procédé dispense de la correction très incertaine de la dilatation des lames de verre qui ferment la cuve, et de celle plus incertaine encore, bien que non négligeable, de l'air échauffé au contact des parois. De plus on détermine la température au moyen d'un seul thermomètre.

Les expériences terminées jusqu'à présent ont porté sur l'eau comme liquide, et, comme solides, sur la glace de Saint-Gobain et le quartz perpendiculaire à l'axe. L'épaisseur des lames était $1^{mm},258$ pour le verre, $1^{mm},392$ pour le quartz; avec ces épaisseurs, les franges sont très serrées (environ 50 franges entre les raies C et D), et il faut, pour les observer, la dispersion assez forte produite par cinq prismes de flint de 60°. L'indice du verre de Saint-Gobain pour la raie D ne varie pas sensiblement avec la température, d'après les expériences directes de M. Fizeau et de M. Baille. Les expériences faites avec ce corps donneront donc la variation d'indice de l'eau. La différence entre les résultats précédents et ceux obtenus avec l'eau et le quartz donneront la variation de l'indice ordinaire de ce dernier corps.

Les expériences que je publie aujourd'hui ont surtout servi de moyen de contrôle pour la méthode. Cette méthode fournit avec une grande précision les variations d'indice des liquides, et, pour les solides, comparés à un liquide étudié une fois pour toutes, elle permet d'opérer sur de très petits fragments.

La détermination des variations d'indice de l'eau était ici le point important; aussi ai-je procédé à des mesures directes. Je me suis d'abord servi d'un prisme de 90° environ, placé à une tempé-

rature déterminée à la position de déviation minima. Le prisme rempli d'eau tiède se refroidissait lentement dans l'air ambiant; sa capacité étant de près d'un litre, le refroidissement était assez régulier pour permettre le dédoublement de la raie du sodium, alors que sa température était de 15 à 20° au-dessus de celle de l'air ambiant. J'ai d'ailleurs opéré en été et en hiver avec des températures extérieures voisines de 20° et de 0°, en plaçant le thermomètre en différents points de la masse liquide. Les résultats étaient très concordants. D'autres séries d'expériences ont été faites avec un prisme de 45°, placé normalement aux rayons incidents. Dans les deux cas, *sans toucher au prisme,* j'observais, à l'aide d'un théodolite de Gambey donnant les 5″, le déplacement de la raie du sodium, et j'en ai déduit une formule donnant $\frac{dn}{dt}$ en fonction de la distance de la raie D à la position correspondant à une température donnée. On évite ainsi, en ne touchant pas au prisme, les erreurs provenant des irrégularités des lames qui le forment.

Je reproduis, sous forme de Tableau, les résultats obtenus entre 20° et 40° :

	$\frac{dn}{dt}$ déduit des expériences					
	directes.		sur l'eau et la glace de Saint-Gobain.	sur l'eau et le quartz.		
Température.	Prisme de 90°. I.	Prisme de 45°. II.	III.	IV.	Moyenne de I, II, III.	Différence avec IV.
40°.....	—0,0001446	—0,0001457	—0,0001497	—0,0001418	—0,0001467	—0,0000049
38.....	1406	1420	1437	1381	1421	40
36.....	1364	1382	1386	1337	1377	40
34.....	1321	1340	133	1288	1330	42
32.....	1276	1291	1275	1234	1281	47
30.....	1229	1239	1220	1177	1229	52
28.....	1181	1179	1168	1118	1176	58
26.....	1134	1119	1114	1058	1122	64
24.....	1074	1049	1058	999	1060	61
22.....	1009	978	995	939	994	55
20.....	929	898	927	873	918	45

Le nombre obtenu pour la variation d'indice ordinaire du quartz est —0,0000050, nombre presque identique avec celui obtenu par M. Fizeau, —0,0000055, entre des limites de température un peu différentes.

SÉANCE DU 18 MAI 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est lu et adopté.

M. Hospitalier établit les limites pratiques du transport de la force à distance par des lignes télégraphiques aériennes. Dans ce cas, la force électromotrice de la génératrice est limitée par le danger que présentent les potentiels élevés, ainsi que l'influence nuisible toujours croissante des dérivations et l'intensité du courant par le travail perdu par échauffement de la ligne en raison de sa résistance. En limitant pratiquement la force électromotrice de la génératrice à 3000 volts, en consentant à une perte sur la ligne égale à 20 pour 100 de l'énergie électrique totale fournie par la génératrice, et en supposant un rendement mécanique final de 50 pour 100 (conditions très favorables), un calcul très simple montre que, sur une ligne de 900 ohms de résistance (cas de Miesbach-Munich), il n'est pas possible de transmettre plus de *un cheval et demi.*

Avec un fil de fer de 4^{mm} de diamètre, il n'est pas possible de transmettre plus de 7 chevaux lorsqu'on ne dépasse pas une force électromotrice de 3000 volts ; à une distance de 20^{km} la quantité de travail maxima que l'on peut transmettre est de 3 chevaux.

M. Hospitalier cite de nombreuses expériences faites sur des lignes télégraphiques aériennes avec des courants *continus,* qui prouvent que les dérivations de ces lignes sont loin d'être négligeables ; les expériences faites au Chemin de fer du Nord n'apportent pas une preuve contraire à cette affirmation, puisque les variations de la résistance de la ligne, mesurée par la loi de Ohm, diffèrent de plus du quart de sa valeur absolue mesurée au pont de Wheatstone.

La répartition des potentiels sur le fil d'aller et le fil de retour, étant d'ailleurs très différente, suivant que l'on adopte le couplage dit *en boucle,* ou le couplage *à vraie distance,* lors même que les expériences faites dans le premier cas n'auraient indiqué aucune perte par dérivation, on n'est nullement autorisé à en conclure qu'il en serait de même dans le second cas.

M. Cabanellas croit que M. Hospitalier a pris un point de départ trop défavorable en admettant que la machine transmettrice ne doit pas dépasser une force électromotrice de 3000 volts. Il pense que l'on arrivera à employer des forces électromotrices beaucoup plus considérables, allant même jusqu'à 30000 volts.

M. Hospitalier considère comme très dangereux l'emploi de potentiels supérieurs à 3000 volts sur des lignes télégraphiques *aériennes.*

M. Kœnig commence par établir une distinction très nette entre les *harmoniques* et les sons de *subdivision* qui accompagnent un son fondamental. Les harmoniques sont dus à la décomposition en sons pendulaires simples des sons imparfaitement pendulaires; le rapport entre leur nombre de vibrations et celui du son fondamental est exactement un nombre entier.

Les sons de subdivisions ou sons *partiels* prennent naissance quand le corps sonore exécute simultanément plusieurs modes de vibration qu'il peut aussi produire séparément; le rapport entre le nombre de vibrations d'un son de subdivision et celui du son fondamental n'est qu'approximativement un nombre entier et peut varier pour une même subdivision d'un corps sonore à un autre.

M. Kœnig fait l'expérience avec deux diapasons dont les sons fondamentaux sont parfaitement à l'unisson, tandis que les sons de subdivision qui devraient être de même hauteur produisent des battements. Un tuyau de $2^m,33$ de longueur et de $0^m,12$ de largeur donne pour le huitième son partiel une note qui est à près d'une seconde d'intervalle du huitième harmonique.

Il n'y a pas lieu de chercher si la différence de phase des sons de subdivision a une influence sur le timbre, puisque ces différences varient continuellement. Mais celles-ci restent absolument fixes pour les harmoniques d'un son fondamental, et M. Kœnig a étudié l'influence que pouvait avoir la différence de phase de ces harmoniques sur le timbre du son complexe.

L'appareil qu'il a employé pour faire cette étude est la sirène à onde. Devant un porte-vent terminé par une fente allongée, passe une lame de laiton découpée suivant une certaine loi. Cette lame de laiton peut être disposée, soit sur le pourtour d'un cylindre tournant autour de son axe, et, dans ce cas, la fente doit être parallèle à l'axe de rotation, sur le pourtour d'un disque rotatif, et, dans ce cas, la fente doit être disposée parallèlement au rayon du disque. Les sinuosités de la lame mobile interceptent une fraction variable de la hauteur de la fente, et l'effet produit est le même que si celle-ci diminuait et augmentait périodiquement de hauteur suivant une loi correspondant à la forme de la lame découpée.

M. Kœnig présente et fait fonctionner deux de ces appareils, répondant aux deux formes indiquées. L'un d'entre eux contient treize anneaux de diamètres décroissants pouvant tourner autour d'un même axe, et découpés suivant des sinusoïdes correspondant à un son fondamental et à ses quinze premiers harmoniques. Des porte-vent sont placés devant le pourtour de chaque anneau; des touches permettent d'y lancer l'air avec une force graduée et de produire ainsi avec une intensité déterminée l'harmonique correspondante. En déplaçant, à l'aide d'un levier, un ou plusieurs porte-vent d'une fraction de l'ondulation, on fait varier la phase.

M. Kœnig a reconnu ainsi que la phase des harmoniques avait une influence très marquée sur l'intensité du son complexe et une influence plus faible, mais qui est encore très sensible sur son timbre. Le son complexe obtenu par la composition d'une série d'harmoniques de rang pair et impair présente le maximum de force et le timbre le plus plein quand la coïn-

cidence des phases a lieu au $\frac{1}{4}$ des ondulations, le minimum de force et le timbre le plus doux quand il a lieu aux $\frac{3}{4}$.

M. Kœnig ayant, dans le courant de sa Communication, signalé l'influence d'un résonnateur sur le mode de vibration du diapason dont il renforce le son, M. Gariel dit qu'il a remarqué le même phénomène en amenant l'air dans un larynx artificiel au moyen d'un tube de caoutchouc. La longueur et la disposition de celui-ci avaient une grande influence sur le son produit par le larynx.

Sur les limites du transport de la force à distance par des lignes télégraphiques aériennes; par M. H. Hospitalier.

La question que nous voulons soumettre à la Société semble avoir été laissée systématiquement de côté dans les nombreuses discussions soulevées par le transport électrique de la force à distance, malgré l'importance qu'elle présente au point de vue des applications industrielles, et de l'économie qu'on peut réaliser par l'utilisation des forces naturelles transportées électriquement à distance de leur point de production.

Le problème est surtout intéressant et d'une solution relativement simple lorsqu'on considère le cas particulier de lignes télégraphiques aériennes; on peut, dans ce cas, le poser en ces termes :

Quelle est la quantité maximum de travail qu'on peut transmettre à une distance donnée sur une ligne télégraphique aérienne d'un type donné?

La théorie pure répond que cette quantité est indéfinie, pour ne pas dire infinie. Soient, en effet, E, la force électromotrice (en volts) de la machine génératrice, et I l'intensité du courant (en ampères) qu'elle fournit. La quantité de travail transformée en énergie électrique W a pour valeur

$$W = \frac{EI}{g} \text{ kilogrammètres par seconde} \tag{1}$$

ou

$$W = \frac{EI}{75\,g} \text{ chevaux-vapeur.}$$

En choisissant convenablement E et I, en augmentant la force

électromotrice et l'intensité du courant à mesure que la distance augmente, on peut faire produire à la génératrice une quantité d'énergie électrique quelconque, et recueillir à distance un travail aussi grand qu'on le veut, quel que soit d'ailleurs le rendement de la transmission. Il n'en est malheureusement pas de même en pratique, surtout avec les lignes aériennes pour lesquelles E et I ne peuvent varier qu'entre de très étroites limites que nous allons examiner.

Limites de E. — La force électromotrice de la génératrice est limitée par les exigences de l'isolement, tant au point de vue de l'influence nuisible des dérivations, influence sur laquelle nous reviendrons tout à l'heure, qu'au point de vue du danger réel que présentent les potentiels élevés. Dans les expériences du chemin de fer du Nord, la force électromotrice n'a jamais dépassé 2500 volts, et cependant il s'est produit un accident qui, heureusement, n'a pas eu de suites, mais est de nature à faire réfléchir lorsqu'il s'agit d'établir des conducteurs *aériens* avec des potentiels aussi élevés. C'est donc faire la part belle au transport que de limiter seulement à 3000 volts la force électromotrice de la génératrice, malgré le danger évident dès qu'on dépasse 2000 volts.

Limites de I. — L'intensité du courant n'est limitée que par la nature de la ligne et par sa longueur. Pour que le transport soit économique, il ne faut pas que la quantité d'énergie électrique dépensée dans le conducteur, sous forme de chaleur, dépasse une fraction donnée k du travail total transformé en énergie électrique par la génératrice. Soit R la résistance de la ligne en ohms; la perte par échauffement de la ligne a pour valeur, d'après la loi de Joule,

$$\frac{RI^2}{g} \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

La condition exprimée ci-dessus s'écrira alors

$$\frac{RI^2}{g} = kW = \frac{kEI}{g};$$

ce qui donne, tous calculs faits,

$$I = k\frac{E}{R}. \tag{2}$$

Lorsque R sera déterminé, I le sera aussi, puisque E est égal à 3000 volts et R représente la résistance de la ligne en ohms.

Détermination de R. — Nous supposerons, pour fixer les limites supérieures du transport, les conditions les plus favorables, c'est-à-dire des dérivations *nulles* (nous exposerons un peu plus loin nos réserves expresses sur ce point), et un rendement mécanique final de 50 pour 100. Pour réaliser ces conditions, nous ne devons pas dépenser par échauffement du conducteur plus de 20 pour 100 du travail transformé en énergie électrique par la génératrice, ce qui correspond à 40 pour 100 du travail total effectif recueilli sur la réceptrice W'. Pour un rendement de 50 pour 100, on a

$$W' = \frac{W}{2} = \frac{EI}{2g}.$$

Et en remplaçant I par sa valeur tirée de la formule (2), on a

$$W' = \frac{kE^2}{2gR} \text{ kilogrammètres par seconde}$$

ou

$$W' = \frac{kE^2}{75 \times 2gR} \text{ chevaux-vapeur.} \tag{3}$$

Le diagramme (*fig.* 1) représente les résultats de cette formule dans le cas de

$$E = 3000 \text{ volts},$$
$$k = 0,20.$$

R résistance de la ligne en ohms portée en abscisses;

W' quantités de travail limite correspondantes, portées en ordonnées.

On voit que la quantité de travail maximum qu'on peut transmettre varie en raison inverse de la résistance de la ligne et que, par exemple, pour une ligne de 900 ohms de résistance (cas de l'expérience de Miesbach-Munich), il serait impossible de recueillir plus de *un cheval et demi.*

Le diagramme (*fig.* 2) se rapporte à des lignes aériennes d'un type donné, dont les résistances sont respectivement 5 ohms, 10 ohms et 20 ohms par kilomètre de distance. La courbe 20 se rapporte

à une ligne double formée de *fil de fer* de 4^{mm} de diamètre ; la courbe 10 à une ligne en *fil de fer* de 6^{mm}, et la courbe 5 à une ligne en *fil de cuivre* de 3^{mm}. Lorsqu'on fait usage de potentiels élevés, l'emploi du fil de retour est imposé pour réduire les chances d'accident qui, avec le retour par la terre, rendraient le transport électrique de la force à distance inapplicable.

La résistance kilométrique de la ligne de chaque spécification se trouve donc doublée par le fait de l'emploi du double fil.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur les courbes pour voir la quantité de travail limite qu'une ligne donnée permet de transmettre à une distance donnée. Ainsi, par exemple, une ligne télégraphique aérienne double de 6^{mm} ne permet pas de transmettre plus de

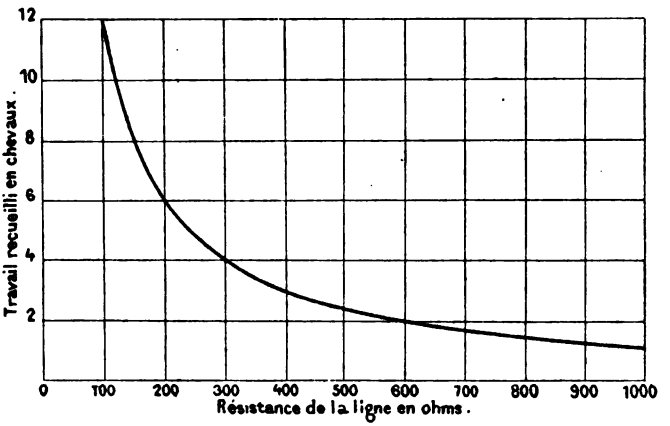


Fig. 1. — Travail maximum recueilli en fonction de la résistance de la ligne pour E = 3000 volts.

6 chevaux à 20^{km} de distance; à 60^{km} de distance, ce travail se trouverait réduit à 2 chevaux.

Il nous reste maintenant à justifier les réserves que nous avons faites en supposant nulles les dérivations de la ligne. Cette hypothèse ne présentait aucun inconvénient pour déterminer les limites *supérieures* de travail transportable à une distance donnée, avec une force électromotrice initiale donnée ; mais il importe de remarquer qu'elle n'est pas justifiée en pratique, et que l'influence de ces dérivations tendra à abaisser encore la quantité de travail déduite des formules que nous venons d'établir.

Quelle est l'importance réelle des dérivations des lignes télégraphiques aériennes soumises à des potentiels élevés?

On s'est trop hâté de conclure que ces dérivations étaient nulles, ou tout au moins pratiquement négligeables.

En fait, *aucune expérience directe* n'autorise jusqu'ici cette conclusion. Le rapport de la Commission de l'exposition de Munich

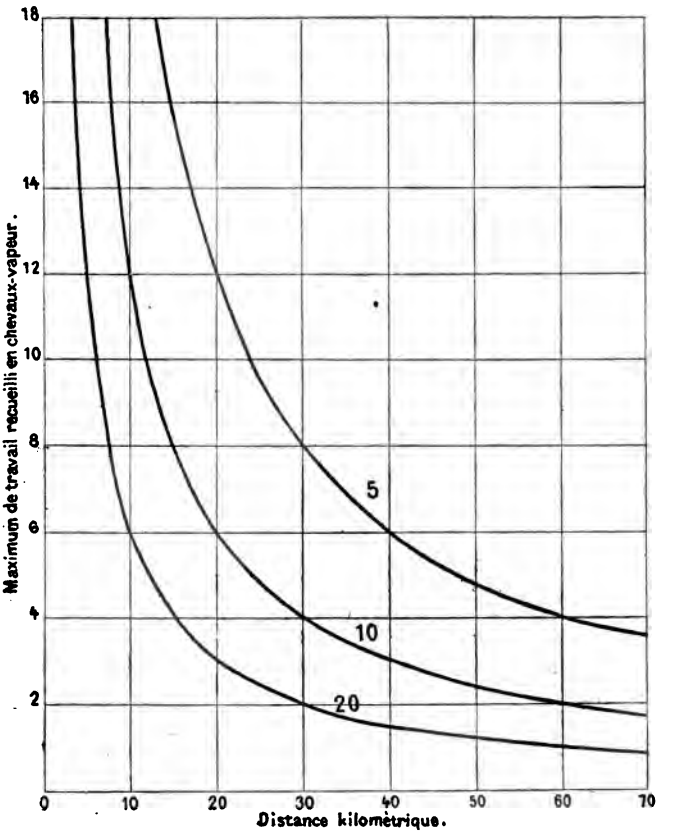


Fig. 2. — Travail maximum recueilli à une distance donnée sur une ligne d'un type donné pour E = 5000 volts.

est absolument muet sur ce point, et, dans les expériences de Miesbach-Munich, on n'a jamais cité deux observations *simultanées* des intensités respectives du courant au départ et à l'arrivée, pendant le transport même.

Au chemin de fer du Nord, les trois séries d'expériences faites ne nous apportent non plus aucun renseignement sur la question, malgré les conclusions du Rapport présenté à l'Académie par M. Cornu.

En effet, la résistance *mesurée* de la ligne expérimentée était de 160 ohms; la résistance *calculée* par le rapport de la différence de potentiel aux extrémités à l'intensité du courant a fourni des nombres variables entre 138 et 179 ohms, soit une différence totale dans les mesures de 25 pour 100 de la grandeur à mesurer.

Mais, comme la *moyenne* des cinq expériences faites donne 159,6 ohms (valeur très voisine de 160 ohms), le rapporteur conclut que :

« Cette identité entre la résistance effective de la ligne et la résistance mesurée est *très importante*, au point de vue de l'accord entre la théorie et l'expérience, pour l'analyse des phénomènes de transformation d'énergie dans le circuit. Elle montre que la consommation d'énergie nécessaire pour franchir la résistance de 160 ohms est, pratiquement, exactement égale à la valeur prévue par la théorie.

» La divergence des résultats partiels provient des oscillations inévitables de la vitesse des machines, et surtout de l'impossibilité où l'on était de faire des mesures absolument simultanées. »

Il nous est impossible d'accepter cette conclusion, à cause de la trop grande divergence des résultats partiels, surtout lorsque, dans les deux premières séries d'expériences, le même calcul avait fourni une diminution de résistance de la ligne variant entre 7 et 12 pour 100 de sa valeur mesurée directement. La divergence des résultats partiels indique tout au plus que l'expérience est entièrement à refaire, mais n'autorise nullement à conclure que la ligne a toujours, pendant la transmission, la même résistance électrique.

Mais il y a plus. Lors même que ces dérivations auraient été pratiquement nulles dans les expériences du chemin de fer du Nord, avec le couplage *en boucle*, il n'en résulte pas forcément qu'il doive en être de même dans le couplage *en ligne* ou *à vraie distance*. Il suffit, pour s'en convaincre, de se reporter aux *fig.* 3 et 4. Dans ces diagrammes, nous avons représenté la répartition

des potentiels sur les différentes parties du circuit, en supposant ce circuit développé sous forme d'un cercle complet, et en portant en chaque point, sur le prolongement du rayon, une longueur proportionnelle au potentiel de ce point, en prenant comme potentiel zéro celui du pôle négatif de la génératrice.

On voit ainsi que, pour une différence de potentiel de 2000 volts aux bornes de la génératrice, dans le couplage en *boucle* (*fig.* 3), avec les machines juxtaposées, la différence de potentiel entre deux points quelconques de la ligne ne dépasse jamais 400 volts,

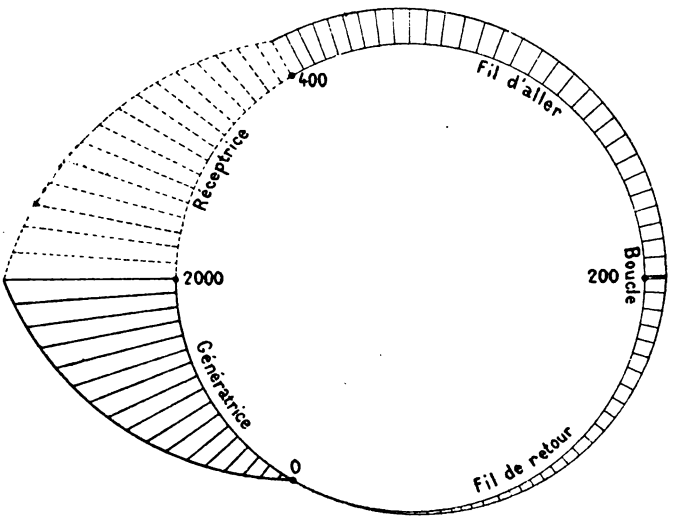


Fig. 3. — Distribution des potentiels dans le couplage *en boucle.*

tandis que, dans le couplage à *vraie distance* (*fig.* 4), cette différence varie entre 1600 et 2000 volts.

La répartition si différente des potentiels sur la ligne, dans les deux cas, indique nettement que ces dérivations ne se comporteront de même dans les deux cas, et qu'elles seront loin d'avoir la même valeur absolue. Malheureusement, aucune expérience directe n'a été faite sur les dérivations des lignes télégraphiques aériennes chargées à un potentiel élevé, et l'on ne peut, jusqu'à nouvel ordre, que s'en référer aux expériences télégraphiques.

Il existe un certain nombre de mesures faites sur des lignes télégraphiques aériennes, avec des courants continus, mesurés au

galvanomètre, et qui montrent que ces dérivations sont loin d'être négligeables. Aussi n'avons-nous pas été peu surpris de lire dans le rapport de M. Cornu à l'Académie des Sciences le passage suivant :

« On sait en effet que l'essai d'appareils télégraphiques, dans les conditions de jonction où se trouvent les deux machines, ne permettrait aucune conclusion sur la valeur des appareils au point de

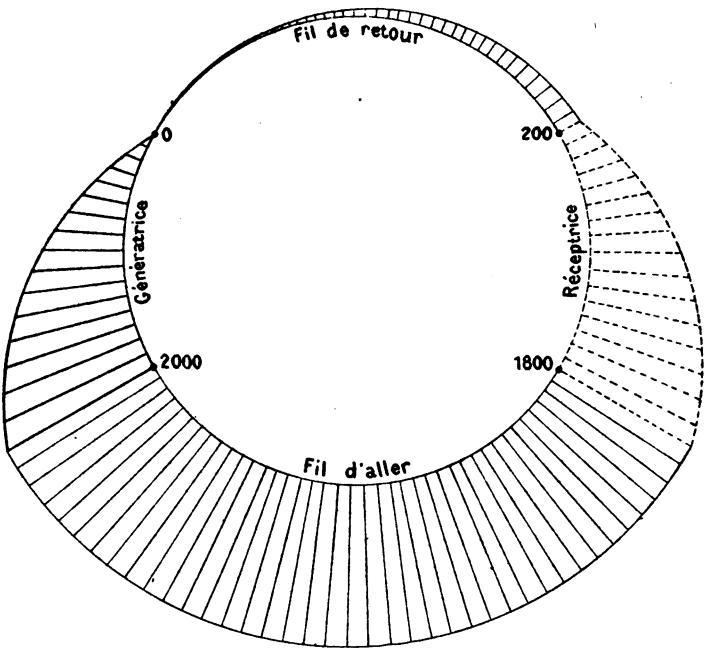


Fig. 4. — Distribution des potentiels dans le couplage *à vraie distance.*

vue de leur rendement en ligne, c'est-à-dire de leur rapidité de fonctionnement; mais cette objection s'amoindrit singulièrement si l'on remarque que les signaux télégraphiques sont caractérisés par la discontinuité des courants, discontinuité que la capacité électrique des longues lignes, l'électrification des isolants, etc., tendent à effacer et à détruire; c'est pourquoi les lignes télégraphiques ne peuvent être, au point de vue de l'appréciation des appareils, remplacées par un fil court de résistance équivalente. Mais, pour la transmission d'un courant uniforme, ces difficultés

n'existent nullement, car il s'agit de savoir seulement si le flux électrique parcourt sans complications le circuit donné, ce dont on a eu la preuve numérique dans chaque expérience : l'objection tirée de la comparaison avec les appareils télégraphiques perd donc la plus grande partie, sinon la totalité de sa valeur. »

Depuis les expériences faites en 1845 par M. Breguet, *au moyen de deux boussoles des sinus bien comparées* (voy. *Télégraphie pratique* de Gavarret, 1861, p. 225), jusqu'aux expériences récentes du regretté Schwendler dans l'Inde, 1880 (voy. la *Lumière Électrique* du 28 mai 1881, p. 380), expériences dans lesquelles les courants mesurés au départ et à l'arrivée sont exprimés en milli-ampères, on sait que les dérivations se produisent sur des lignes télégraphiques traversées par des courants continus; on sait aussi que, sur des lignes longues, il est vrai, mais chargées à potentiels qui ne dépassent jamais 200 volts, le courant reçu varie entre *quatre-vingt* pour 100 et *vingt* pour 100 du courant transmis. La discontinuité du courant, la capacité de la ligne, l'électrification des isolants n'ont absolument rien à voir dans ce cas, où il s'agit de courant *continu*. L'objection tirée de la comparaison avec les lignes télégraphiques ne perd donc rien de sa valeur, et la réponse faite par l'honorable rapporteur est absolument *à côté* de la question. Les difficultés existent, et on les retrouvera le jour où l'on fera un vrai transport de force, par une ligne télégraphique aérienne, avec des potentiels élevés, à une *vraie distance*, et qu'on se décidera à mesurer *tous* les éléments du problème et, en particulier, le courant transmis en ampères et le courant reçu en ampères.

Les expériences du chemin fer du Nord n'ont apporté aucune lumière sur ce point important de la question de transmission de force à distance; la partie du Rapport que nous venons de citer est en contradiction formelle avec les faits acquis par de nombreuses expériences faites sur des lignes télégraphiques *aériennes*, avec des courants *continus*.

Ces réserves expresses justifient le but de cette communication et son utilité. Nous avons en effet limité théoriquement, dans les conditions les plus favorables, la quantité maximum de travail qu'il est possible de transmettre à une distance donnée, avec une force électromotrice initiale donnée, sur une ligne aérienne d'une résistance donnée; les dérivations réduiront encore cette quantité

de travail transportable dans une certaine mesure, numériquement inconnue jusqu'ici, mais nullement négligeable.

Les quelques chiffres que nous avons donnés répondent aux rêveries de quelques utopistes qui voudraient transmettre à Paris tout le travail des chutes du Niagara par un fil de sonnerie électrique.

Pour transmettre beaucoup de travail à une grande distance, il faut de gros fils; dans chaque cas particulier il existe, pour une force donnée, une distance qu'on pourrait appeler la *distance critique*, à partir de laquelle il devient plus simple et plus économique de recourir à une production directe du travail sur place, avec les moteurs actuellement connus.

Remarque sur la Communication précédente;
par M. Cabanellas.

Depuis longtemps déjà, j'ai exprimé l'opinion que le transport électrique de l'énergie, n'ayant de raison d'être, *comme industrie spéciale,* qu'en vue de mettre en œuvre de très importantes énergies, il sera nécessaire d'employer, à la fois, un canal de haute conduction et une émission de haut potentiel, car une puissante énergie ne peut être constituée que par une grande force électromotrice animant une grande intensité de circulation.

Toutes choses égales d'ailleurs, l'avenir est donc aux lignes de grosse section et de la meilleure conductibilité spécifique; pour la même raison, l'avenir est aux machines à gros fil, tant réceptrices que génératrices.

Il va sans dire que, dans cette donnée, une excellente isolation s'imposera plus impérieusement encore.

Mais je pense qu'il est prématuré et non légitime d'affirmer que la limite de la différence de potentiel d'émission doive être fixée à un chiffre quelconque, 3000 ou 30000^{volts} par exemple, je pense que l'expérience seule décidera.

Sans doute, nous avons vu que le maniement d'une émission de 3000^{volts} pouvait présenter des dangers, par disruption, même entre les mains de savants expérimentés; cependant, cet argu-

ment, de fait, me paraît tout à fait insuffisant si on le soumet à un examen attentif.

Les premières machines à vapeur n'employaient que de faibles tensions, de basses pressions, et si aujourd'hui on est limité dans l'emploi des plus hautes pressions, ce n'est pas par crainte des accidents disruptifs, c'est uniquement parce que la température croît en même temps que la tension et crée des conditions incompatibles avec une bonne conservation des pistons et des cylindres.

Par bonheur, cet inconvénient n'existe pas en électricité : la matière supporte, sans changement d'état, des potentiels électriques extrêmement élevés, et aucune limite ne peut légitimement être énoncée pour le moment. C'est là un avantage précieux dont il faudra tirer tout le parti qu'il comporte.

Qui donc aurait l'idée de renoncer aux terribles explosifs brisants dont on est fort heureux d'utiliser, avec les précautions convenables, les effets les plus violents?

Tous les jours, sous nos yeux, certaines machines ne fonctionnent-elles pas, normalement, par des chocs détonants qui ne sont sans danger que grâce à des dispositifs appropriés?

Les difficultés que l'on peut prévoir, dans l'emploi de l'électricité à très haute tension, paraissent être d'un ordre relativement simple, beaucoup plus simple que dans les autres modes formels de déplacement de l'énergie ; sans aucun doute ces difficultés céderont à une expérimentation méthodique, prudente comme exécution et audacieuse comme portée graduelle.

Pour fixer les idées, je pense que dans une grande organisation de transport et de distribution électriques de l'énergie, les très hauts potentiels seront employés utilement et sans danger, parce que les appareils mis entre les mains et à portée du public seront des organes secondaires, dans lesquels aura été effectuée une transformation électrique locale, telle qu'une imprudence quelconque ne puisse entraîner aucun inconvénient. Tandis qu'il faut remarquer qu'en l'état actuel d'une industrie qui manque à la fois d'audace et de prudence, ce *desideratum* n'est même pas rempli pour les modestes potentiels mis en jeu, puisque des accidents, déjà trop nombreux, ont causé la mort d'un certain nombre de victimes.

SÉANCE DU 1er JUIN 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Aloncle (Félix), Pharmacien de 1re classe à Paris.
Maigret, Docteur en Médecine à Paris.

M. Ad. Guebhard présente quelques remarques sur la puissance des appareils dioptriques. La puissance, d'après une définition de Verdet, a pour formule $P = \frac{1}{f}\left(1 + \frac{\delta}{D}\right)$, si l'on appelle D et $(-\delta)$ les abscisses de l'image observée et du deuxième foyer principal de l'appareil par rapport au point nodal antérieur de l'œil. Il faut donc, si $0 < \delta < D$, placer l'image au *punctum proximum*, ainsi que l'enseigne la théorie ordinaire de la loupe. Mais, si l'on tient compte de l'épaisseur matérielle des *tutamina oculi* et de la position habituelle de l'anneau oculaire dans les microscopes, on se convainc que δ ne peut avoir que des valeurs négatives : il faut alors prendre D aussi grand que possible, c'est-à-dire viser au *punctum remotissimum* en relâchant toute accommodation. Les hypermétropes, ayant la faculté de donner aussi à D des valeurs négatives, ont avantage à augmenter δ, c'est-à-dire à s'éloigner autant que le permet le champ et à employer la loupe à distance en plaçant l'objet un peu au delà du foyer. La combinaison de Brücke a pour but de donner à un œil quelconque l'hypermétropie nécessaire pour utiliser ainsi la loupe objective sans accommodation. Le mode d'emploi le plus avantageux de tous les appareils d'optique se déduit avec la même simplicité de la formule : mais on remarque que toutes les valeurs de P s'écartent en général très peu de $\frac{1}{f}$, expression qui, formulée en dioptries, pourrait véritablement servir de constante caractéristique aux appareils composés comme aux verres simples d'oculistique. Si l'on y adjoignait le paramètre de position du deuxième foyer principal par rapport à l'extrémité de la monture, on aurait tous les éléments nécessaires pour estimer toujours rigoureusement la *puissance* en fonction des constantes de réfraction de l'œil; il serait à désirer que ces deux données précises et significations fussent substituées par les constructeurs à des chiffres de *grossissement* purement conventionnels.

M. Violle a étudié au spectrophotomètre les radiations émises par les métaux incandescents. Les résultats obtenus pour le platine ne sont bien

représentés ni par la formule exponentielle de Dulong et Petit, ni par la loi de la quatrième puissance de la température absolue (T^4) proposée par M. Stefan et qui s'accorde avec les expériences de Dulong et Petit, mieux encore que la formule exponentielle. Pour les températures supérieures à 300°, l'intensité des radiations émises est intermédiaire entre celles qui pourraient être calculées par l'une ou par l'autre de ces deux formules.

M. Violle rappelle ensuite qu'il a proposé comme étalon d'intensité lumineuse un métal en fusion au moment de sa solidification.

Le métal qui convient le mieux, à cause de son inaltérabilité, est le platine; mais son prix élevé et la difficulté de le fondre ont engagé M. Violle à faire des expériences sur l'argent.

Pour cette étude M. Violle a employé la méthode suivante. Un faisceau de radiations émises par le métal, limité par un écran constamment refroidi par un courant d'eau froide, tombe sur l'une des faces d'une pile thermo-électrique. Celle-ci est contenue à l'intérieur d'une enceinte à trois enveloppes, et ses pôles communiquent avec un galvanomètre à réflexion.

Quand on laisse refroidir l'argent, après l'avoir fondu, on observe une diminution régulière dans l'intensité des radiations émises. Au moment où la solidification commence, il se produit un léger ressaut dans l'intensité; ce ressaut est dû à ce que la température du métal s'élève un peu, l'argent ayant subi un commencement de surfusion.

Pendant toute la durée de la solidification, l'intensité des radiations demeure parfaitement constante; à la fin on observe encore un léger ressaut, dû à ce que le solide possède un pouvoir émissif un peu supérieur au liquide. A partir de ce moment l'intensité des radiations diminue avec la température de l'argent solide.

Le rochage ne se produit qu'assez longtemps après la solidification et par conséquent ne peut pas gêner.

En employant un fourneau Perrot, on peut maintenir l'argent à son point de fusion aussi longtemps qu'il est nécessaire aux comparaisons spectrophotométriques.

M. Violle répète l'expérience devant la Société avec une masse d'argent de 1800^{gr} environ.

Sur la puissance des appareils dioptriques;
par M. Adrien Guébhard.

La *puissance* d'un appareil dioptrique étant définie, d'après Verdet, comme la *grandeur apparente de l'unité de longueur de l'objet,* a pour expression $P = \frac{1}{D}\frac{H}{h}$, si l'on appelle H et h deux ordonnées correspondantes de l'image et de l'objet, et D

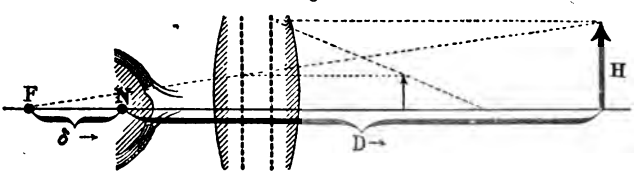
l'abscisse du plan de l'image par rapport au premier point nodal de l'œil. Soient alors δ l'abscisse de ce point nodal [*fig.* 1 (¹)] et f celle du deuxième plan principal de l'instrument par rapport au deuxième foyer de celui-ci : l'abscisse de l'image II, par rapport à ce même foyer, sera $D + \delta$, et la formule fondamentale des instruments réduits à leurs points cardinaux donne immédiatement

$$\frac{H}{h} = \frac{D+\delta}{f}, \quad \text{d'où} \quad P = \frac{1}{f}\left(1 + \frac{\delta}{D}\right),$$

expression qu'il convient de discuter algébriquement, en donnant à δ et à D toutes les valeurs compatibles avec la nature de l'instrument et de l'œil.

Or celui-ci peut voir distinctement à *toutes* les distances comprises entre son *punctum proximum* et son *punctum remotum;*

Fig. 1.



$0 < \delta < D$ (besicle biconvexe; loupe).

d'autre part, il n'est point d'instrument qui ne puisse, soit par des mouvements de totalité, soit par des tirages d'oculaires, placer l'image en tel point de l'espace qui peut convenir; en conséquence, D n'aura pas d'autres limites que les abscisses ϖ et ρ des deux points extrêmes de la vision distincte, abscisses que je suppose mesurées à partir du point nodal et dont la première, généralement plus petite que la seconde, est toujours positive, tandis que l'autre, ρ, peut devenir négative dans le cas d'un œil hypermétrope.

Quant à δ qui, dans le sens négatif, n'a d'autre limite que le recul possible de l'œil, il se trouve arrêté, du côté positif, par divers obstacles matériels : d'une part, les *tutamina oculi;* d'autre part, la monture de l'appareil. La cornée précède le point nodal anté-

(¹) Les figures sont tirées de la *Revue scientifique*, t. XXXI, p. 804, où a paru le texte de ma Conférence, faite le 31 mars 1883, au laboratoire d'Ophtalmologie de M. E. Javal, à la Sorbonne.

rieur de l'œil à une distance qui, pour tous les yeux (1), est comprise entre $6^{mm},515$ dans l'accommodation la plus forte, et $6^{mm},957$ dans le relâchement complet du muscle ciliaire (2). De plus, la paupière et les cils exigent un espace qu'on peut estimer, au bas mot (3), à 5^{mm}; mettons, en chiffres ronds, 12^{mm} pour la plus petite distance possible du point nodal à l'extrémité la plus voisine de l'appareil et, si nous appelons α l'abscisse de cette extrémité par rapport au deuxième foyer total de l'instrument, nous sommes certain de ne pas rester en dessous de la vérité en assignant la valeur $(\alpha - 12)^{mm}$ comme limite supérieure aux variations de δ.

Il s'ensuit que δ ne pourra admettre des valeurs positives que si $\alpha > 12^{mm}$. Alors, *mais alors seulement,* s'appliquera la règle, ordinairement donnée pour la loupe sans distinction de distances focales, de la visée au *punctum proximum,* D devant être pris le plus petit et δ le plus grand possible, c'est-à-dire l'œil et l'objet rapprochés du verre autant que le permet la netteté de la vision. Cette règle est d'ailleurs démentie, on le sait, par la pratique constante des micrographes et des astronomes qui, tous, ont pour habitude de relâcher le plus possible leur accommodation. C'est que, effectivement, le cas ne se présente presque jamais dans la pratique : en dehors des verres faibles, dont l'usage, comme loupes, est justement rejeté à cause de la fatigue qu'il donne et du peu de bénéfice qu'il rapporte (4), la considération de l'*anneau oculaire,* à défaut de données numériques qu'il ne m'a été possible de trouver ni dans les livres, ni chez les constructeurs, prouve que, dans tous les instruments qui n'ont pas leur deuxième foyer principal virtuel [$(\alpha < 0)$ comme les oculaires de Galilée et de Brücke], ou très rapprochés de la monture [microscopes de Stanhope, Wol-

---

(1) On sait que les amétropies ne portent ordinairement que sur la longueur axiale de l'œil et point sur les constantes de la réfraction.

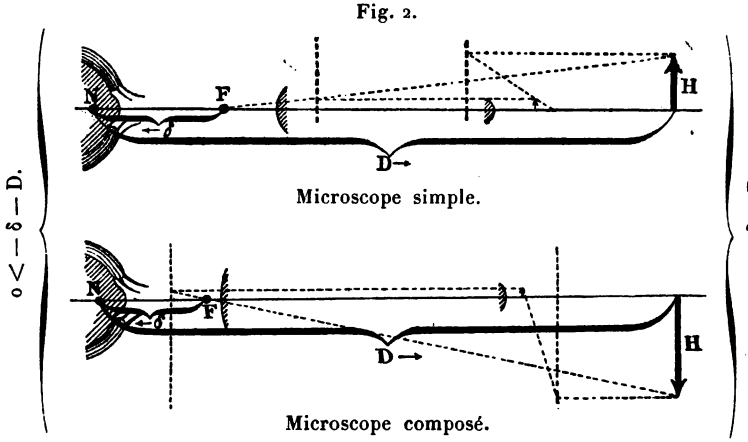
(2) Helmholtz, *Optique physiologique,* traduction Javal, p. 154.

(3) D'après M. le colonel Goulier, ce serait 7^{mm} qu'il faudrait compter dans la pratique ordinaire. Les opticiens comptent toujours 13^{mm} de la cornée à leurs verres correcteurs.

(4) Les verres biconvexes employés pour atténuer la presbyopie ou pour corriger l'hypermétropie agissent toujours de cette façon, c'est-à-dire avec fatigue d'accommodation, leur but étant moins d'augmenter la puissance de la vue que de ramener à des positions normales soit le *punctum remotum* (que nous désignerons, dorénavant, par l'abréviation *p. r.*), soit le *p. p.* (*punctum proximum*).

laston, etc., oculaire de la lunette terrestre (¹), oculaire négatif d'Huygens, oculaire à *œilleton* de la lunette astronomique (²), etc.], le foyer principal tombe, dans les conditions ordinaires d'observation, à une petite distance en avant du point nodal antérieur de l'œil. On sait, en effet, que les constructeurs, pour des raisons de clarté, s'efforcent toujours de faire coïncider l'anneau de Ramsden avec le plan de la pupille, c'est-à-dire avec la face antérieure du cristallin ; or cet anneau et le deuxième foyer principal total de l'appareil ne sont autre chose que les images, fournies par l'oculaire, de la première ouverture et du deuxième foyer de l'objectif; la distance mutuelle de ces images a pour expression $\frac{AF^2}{(A+L)L}$ en fonction de la longueur focale F de l'oculaire et des

Fig. 2.



distances A, L du deuxième foyer de l'objectif au premier verre de celui-ci et au premier foyer de l'oculaire; il suffit de mettre, à la place de ces lettres, des valeurs numériques réelles, pour se convaincre de la petitesse de cette distance par rapport à la plus petite ($3^{mm},3$) de celles qui peuvent exister entre le point nodal de l'œil et la face antérieure du cristallin (³).

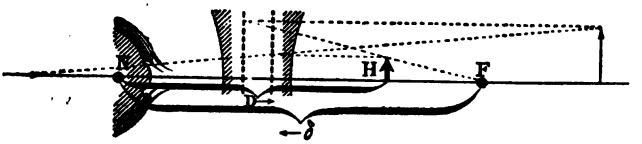
(¹) Dans les lunettes, l'image fournie par l'objectif faisant fonction d'objet réel ou virtuel, mais fixe de grandeur et de position, il n'y a que la puissance de l'oculaire, seule variable, qui puisse intéresser notre discussion.

(²) *Leçons de Physique* de M. P. Desains, t. II, p. 283.

(³) Les valeurs $F = \frac{100^{mm}}{3}$, $A = 18$, $L = 132$ donneraient à peine 1^{mm}; en exagé-

Quoi qu'il en soit, l'œil peut toujours donner à δ des valeurs négatives (*fig.* 2); écartons, une fois pour toutes, le cas où, δ surpassant D en valeur absolue, l'œil a intérêt à regarder encore à

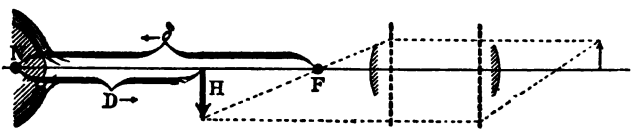
Fig. 3.



$f < o < D < -\delta$ (besicles biconcaves).

son *p. p.*, entre lui et le foyer, l'image, soit virtuelle et droite [myope à besicles biconcaves (*fig.* 3)], soit réelle et renversée

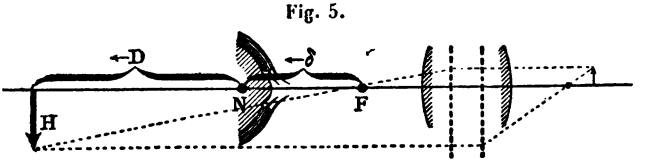
Fig. 4.



$o < D < -\delta$ (chambre noire; projections).

[chambre noire, projections, ophtalmoscopie à l'image renversée (*fig.* 4)] de l'objet placé le plus près possible de l'objectif. Il est

Fig. 5.



$D < o$, $\delta < o$ (œil hypermétrope).

alors certain qu'à moins d'hypermétropie, la plus grande puissance sera donnée par la moindre valeur absolue de la fraction négative

---

rant dans le sens le plus défavorable et prenant les chiffres presque invraisemblables A = 30, L = 120, F = 40, on n'aurait encore que $2^{mm}\frac{2}{3}$. On trouve des données numériques intéressantes dans l'Ouvrage de M. Léopold Dippel, *Das Mikroskop und seine Anwendungen*, t. I, p. 188 et suiv., 2e éd., 1882). La longueur L y joue un grand rôle sous le nom de *longueur réduite* du tube; elle acquiert, dans les microscopes anglais, des valeurs encore beaucoup plus grandes que dans les nôtres. Il est bon de remarquer aussi que la pratique du relèvement de l'oculaire, en micrographie, a pour effet de rapprocher du verre le deuxième foyer total.

$\frac{\delta}{D}$, c'est-à-dire que l'œil devra rapprocher le plus possible du foyer de l'instrument son point nodal, et regarder à son *punctum remotissimum,* c'est-à-dire sans accommodation (1), l'image de l'objet, placé le plus loin possible de l'objectif. Pour les valeurs négatives de D (*fig.* 5), c'est-à-dire pour l'hypermétrope réunissant sur sa rétine des faisceaux déjà convergents, la plus petite valeur absolue correspond encore au *p. r.*, mais il y a bénéfice alors à augmenter δ, c'est-à-dire à éloigner l'œil autant que le permet le champ (2). L'hypermétrope a ainsi un double avantage; mais, tant qu'il ne quitte pas l'oculaire, la puissance qu'il peut atteindre a pour valeur, aussi bien que dans le cas précédent,

$$\frac{1}{f}\left(1 - \frac{0^{m},012 - \alpha}{\rho}\right),$$

tandis qu'avec les instruments à long foyer ($\alpha > 12^{mm}$) elle est toujours représentée par

$$\frac{1}{f}\left(1 + \frac{\alpha - 0^{m},012}{\varpi}\right).$$

Il suit de là que, si ces derniers instruments, généralement *faibles,* tirent de l'accommodation un surcroît de puissance et donnent les meilleurs résultats avec l'œil dont le *p. p.* est le plus rapproché, c'est-à-dire le muscle ciliaire le plus fort, la plus nombreuse catégorie des instruments usuels doit s'employer, au contraire, à l'état de repos complet de l'œil, avec un avantage incontestable pour l'hypermétrope sur l'emmétrope et, à plus forte raison, sur le myope.

---

(1) Il est vrai que le relâchement du muscle ciliaire fait reculer de $0^{mm},4$ le point nodal en arrière de la cornée; mais cette différence minime sur la valeur de δ peut toujours être regagnée par un mouvement de totalité de la tête, en supposant qu'on ne la trouve pas négligeable par rapport aux grandes valeurs que prend alors D. La restriction disparaît, d'ailleurs, en cas d'hypermétropie.

(2) Les hypermétropes ont, en effet, la faculté de se servir de la loupe à distance et sans fatigue, pour obtenir, de l'objet placé un peu au delà du foyer, des images très agrandies. Impossible d'expliquer autrement l'intéressante expérience citée par M. P. Desains (*Leçons de Physique*, t. II, p. 276). C'est ainsi encore qu'un hypermétrope peut apercevoir directement, à distance et sans renversement, le fond de l'œil d'un myope. Enfin, la lunette de Galilée et sa réduction, la loupe de Brücke, n'ont pas d'autre effet que de fournir à l'œil l'hypermétropie nécessaire pour bénéficier de ce mode d'emploi de la loupe objective.

Mais, en réalité, toutes les expressions numériques de la puissance différeront très peu de $\frac{1}{f}$, et il est à remarquer que cette valeur particulière peut être obtenue soit indépendamment de l'accommodation, en faisant coïncider le point nodal de l'œil avec le foyer de l'instrument ($\alpha > 12$, $\delta = 0$), soit indépendamment de la position [1], en produisant l'image à l'infini ($\alpha < 12$, $D = \infty$). Ainsi, la valeur $\frac{1}{f}$, indépendante de l'œil, peut devenir pour l'instrument une véritable constante caractéristique et permettre de calculer, en toute circonstance, la puissance exacte de l'instrument en fonction des paramètres de réfraction de l'œil, dès que l'on connaît α ou la *position* du deuxième foyer. Dans le cas particulier des verres de besicles, on a sensiblement $f = \alpha$, et l'on sait quel immense service a rendu à la pratique de l'oculistique l'introduction de la constante $\frac{1}{f}$ ramenée à l'unité métrique sous le nom de *dioptrie* [2]. Pour des appareils complexes, il est vrai, cela pourrait ne point suffire, sans la donnée corrélative de α; mais, en supposant que ce fût trop exiger des constructeurs qu'un double chiffre, on trouverait encore, ce me semble, dans le premier seul, une indication beaucoup plus précise et plus utile que dans la donnée d'un *grossissement* tout à fait conventionnel [3] qui ne

---

[1] A moins que l'on ne soit myope, mais sans qu'il soit besoin d'être, comme on dit, *infiniment presbyte*.

[2] Ce nom, proposé par M. le professeur Monoyer et vulgarisé par les travaux de M. Javal, a servi de consécration définitive à une réforme inutilement demandée, il y a vingt-cinq ans, par un opticien bien connu, Soleil fils (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t, XLV, p. 347).

[3] Le *grossissement* ayant pour expression, tant qu'il s'agit d'objets (ou d'images objectives), rapprochables de l'œil, $G = \frac{H}{D} : \frac{h}{\varpi} = P : \frac{1}{\varpi}$, n'est, en somme, que le rapport de la puissance de l'instrument à celle de l'œil au maximum d'accommodation, rapport qui, pour un même effet produit par l'instrument, c'est-à-dire pour une même valeur de P, *paraîtra* d'autant plus grand que la puissance de l'œil, réduit à ses propres moyens, sera plus faible, c'est-à-dire ϖ plus grand. Ce caractère variable d'estimation personnelle ne peut disparaître de l'expression du grossissement que si l'on fixe conventionnellement les conditions spéciales de mesure de P et de ϖ; pour la première, on a été conduit de tout temps à prendre $\frac{1}{f}$; mais, pour la seconde, les conventions varient comme doit varier forcément une notion aussi vague que celle de ce qui est appelé encore trop sou-

peut servir ni à un calcul, ni même à une appréciation exacte de la valeur d'un instrument. En tout cas, exprimer en dioptries la *force* des instruments composés comme des verres simples serait un pas vers l'unification de la langue scientifique; introduire le paramètre de position du deuxième foyer fournirait une base exacte à tous les calculs; tels sont les vœux que j'exprime en forme de conclusion de cette étude.

Sur la radiation de l'argent au moment de sa solidification; par M. Violle.

Au Congrès international des électriciens, en 1881, et comme conséquence des recherches que j'avais eu l'honneur de soumettre à l'Académie des Sciences aux mois d'avril et de mai de la même année ([1]), j'ai proposé pour *étalon absolu de lumière la radia-*

---

vent LA *distance* (sans épithète) *de vision distincte* ou d'*extériorisation des impressions*. Cette distance, qui ne pourrait être unique pour un œil donné, que dans le cas de paralysie absolue du muscle ciliaire, et qui, dans tout autre cas, peut prendre toutes les valeurs possibles, depuis ϖ jusqu'à ρ, est fixée, en général (*voir* l'Ouvrage cité de L. Dippel), à 250^{mm}, ce qui revient à multiplier par 250 la valeur de $\frac{1}{f}$ rapportée au millimètre. Mais elle varie, sans règle, d'un pays et d'un constructeur à l'autre. Quelle que soit, d'ailleurs, la valeur choisie, il est évident qu'elle ne peut avoir d'autre effet que celui de coefficient grossissant par rapport a $\frac{1}{f}$, et la convention gagnerait en simplicité, si ce n'est en sincérité, en égalant une fois pour toutes à l'unité métrique ce facteur arbitraire et inutile.

([1]) Ces recherches avaient pour but d'étudier la variation de l'intensité des diverses radiations simples avec la température. Le Tableau suivant résume les résultats obtenus avec le platine incandescent :

	Intensités			
Températures.	$\lambda = 656$, C.	$\lambda = 589{,}2$ D.	$\lambda = 535$ (E = 327).	$\lambda = 462$ (F = 486).
775°	0,00300	0,00060	0,00030	»
954	0,01544	2,01105	0,00715 (?)	»
1045	0,0505	0,0402	0,0265	0,0162
1500	2,371	2,417	2,198	1,894
1775	7,829	8,932	9,759	12,16

Les résultats obtenus pour le platine ne sont bien représentés ni par la formule

tion émise par un centimètre carré de platine fondant. M. Dumas, daignant prendre cette proposition sous son haut patronage, a appelé sur elle l'attention de la Conférence internationale pour la détermination des unités électriques, et M. le Ministre des Postes et des Télégraphes a bien voulu me donner l'ordre d'étudier à nouveau la question.

Sur l'invitation de M. Dumas, j'ai d'abord exécuté des expériences préliminaires avec l'argent ([1]).

Le premier point était d'établir expérimentalement la constance du rayonnement pendant la solidification. A cet effet, un bain d'argent fondu est glissé sous une pile thermo-électrique reliée à un galvanomètre à miroir. Le rayonnement du bain tombe normalement sur la pile par une ouverture de 1^{cq} ménagée dans un écran à double paroi dans lequel circule un courant d'eau et recouverte d'une lame de quartz. L'argent liquide, à une température supérieure à celle de sa fusion, étant abandonné au refroidissement sous la pile, voici ce que l'on observe :

La radiation décroît d'abord, plus ou moins rapidement suivant la disposition du vase qui renferme le métal en fusion; puis ce décroissement se ralentit et, au moment même où la solidification commence sur les bords du vase, une petite montée se produit. Le liquide forme alors au milieu de la partie solidifiée une sorte de lac dont les rives avancent peu à peu : pendant toute cette phase du phénomène, la radiation de la partie liquide reste constante. Quand la solidification gagne la partie centrale, un léger accroissement se manifeste, suivi bientôt d'un décroissement ra-

---

exponentielle de Dulong et Petit, ni par la loi de la quatrième puissance de la température absolue (T^4) proposée par M. Stefan et qui s'accorde avec les expériences de Dulong et Petit, mieux encore que la formule exponentielle. Pour les températures supérieures à 300°, l'intensité des radiations émises est intermédiaire entre celles qui pourraient être calculées par l'une ou par l'autre de ces deux formules.

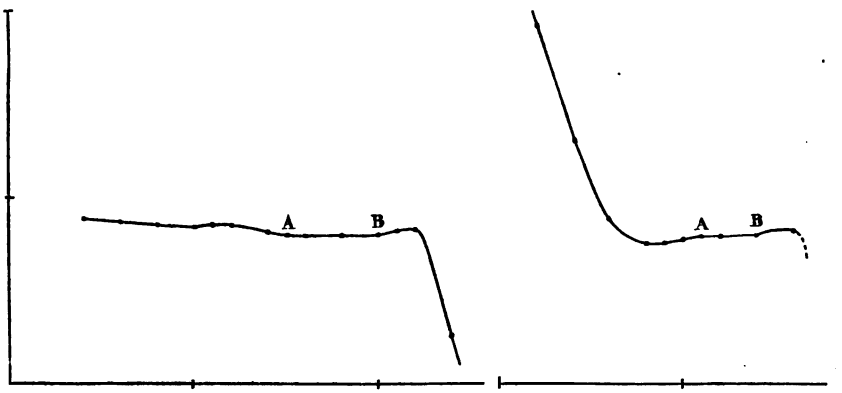
En tous cas, elle croît très rapidement avec la température. Un étalon d'intensité ne sera donc constant qu'à la condition de posséder une température rigoureusement fixe. C'est pourquoi j'ai cherché dans le point de fusion d'un corps une *garantie absolue de constance,* en même temps que la *certitude d'une reproduction toujours identique.*

([1]) M. Debray a eu la bonté de me fournir de l'argent absolument pur et de mettre à ma disposition toutes les ressources de son laboratoire avec une bienveillance dont je tiens à le remercier tout particulièrement ici.

pide, correspondant au refroidissement du métal entièrement solidifié.

Par exemple, les déviations, notées de demi-minute en demi-minute, dans deux expériences du 10 février, furent :

I. 0 » 94 93,5 93 93 93 93 92,5 93 93 92 91 91,5 90 90 90 90 89,5 92 92 » 63...
III. 0 » 146 » 116 105 95 88 88,5 88,5 90 90 90 91 91 91,5 88...



La première fois, le métal, presque à la température de sa fusion et contenu dans une boîte à la même température, se refroidissait très lentement; la seconde fois, au contraire, le métal, fortement surchauffé, mais dans une boîte froide, se refroidissait très vite. Malgré cette différence dans les conditions de l'expérience, la marche du phénomène est essentiellement la même. La courbe de refroidissement représente dans la région qui nous occupe une portion rectiligne AB, précédée et suivie d'un petit ressaut. Le premier ressaut provient de la surfusion qu'il est difficile d'éviter complètement. Le second ressaut correspond à un accroissement brusque du pouvoir émissif lors de la solidification : le pouvoir réflecteur du métal diminue en effet manifestement au moment du changement d'état.

La partie constante est ainsi nettement limitée, et l'on pourra trouver dans l'argent un étalon secondaire fixe, qui sera en particulier très commode dans toutes les mesures de spectrophotométrie, où l'intensité absolue des radiations n'a généralement pas d'importance.

SÉANCE DU 15 JUIN 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 1er juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. l'abbé Courquin, Professeur au Collège de Tourcoing;
Gerboz, Constructeur d'instruments de précision à Paris.

M. Mascart décrit un instrument transportable dont il a fait usage pour déterminer les variations de la pesanteur. On a proposé depuis longtemps de mesurer en deux lieux différents les hauteurs de la colonne de mercure qui font équilibre à la pression d'une même masse de gaz à température constante, mais cette méthode ne paraît pas avoir été mise en pratique.

L'appareil présenté par M. Mascart est un baromètre à siphon dont la courte branche est fermée et renferme un gaz à la pression d'une colonne de mercure de 1^m de hauteur. Si le changement de la différence de niveau, ou simplement celui du niveau supérieur, peut être déterminé avec une approximation de $\frac{1}{100}$ de millimètre, l'appareil sera capable de constater une variation de $\frac{1}{100000}$ dans la valeur de la gravité. Pour obtenir cette exactitude de pointé, le tube porte une échelle divisée en $\frac{1}{10}$ de millimètre, qu'on observe par réflexion sur une surface dorée, d'après la méthode de M. Govi. Un microscope vise en même temps le mercure à travers la lame d'or et l'image réfléchie de l'échelle, ce qui élimine les erreurs de parallaxe. L'instrument est plongé, pour l'observation, dans un bain d'eau dont on détermine la température à $\frac{1}{100}$ de degré près. La variation de niveau est d'ailleurs proportionnelle à la différence de température et le coefficient ainsi déterminé par expérience donne la constante qui permet de calculer les différences de gravité entre deux stations.

M. Wolf demande si les modifications du verre correspondant à celles qui produisent le déplacement du zéro dans les thermomètres ont une importance notable. Cette cause d'erreur serait d'ailleurs éliminée par les observations répétées à la station de départ.

M. Lippmann fait remarquer que les changements de gravité seraient donnés également par la différence des hauteurs de mercure qui font équilibre à la tension maximum d'une vapeur à la même température.

M. Monoyer expose à la Société les principes de sa *Théorie générale des systèmes dioptiques centrés*. Il montre qu'en considérant un système d'un nombre quelconque de *dioptres*, on arrive à établir entre les abscisses q et q^u de deux foyers conjugués une relation qui se présente sous la

forme d'une fraction continue, dont la réduite conduit à l'*équation primitive des abscisses*

$$(1)\qquad \begin{cases} Aq^n + Bq = C + Dqq^n \\ \text{ou} \\ aq^n + bq = c + qq^n, \end{cases}$$

équation d'une hyperbole.

De même, en calculant le grossissement G, c'est-à-dire le rapport de grandeur entre l'image et l'objet, on obtient, pour *formule primitive des ordonnées conjuguées,* les deux expressions

$$(2)\qquad G = \frac{y^n}{y} = \frac{P(f)}{Dq - A} = \frac{Dq^n - B}{P(f')},$$

dans lesquelles $P(f)$ représente le produit des premières longueurs focales de tous les dioptres composants, et $P(f')$ le produit des secondes longueurs focales.

Par suite des relations qui existent entre les divers coefficients A, B, C, D de l'équation relative à un système donné, il suffit de connaître le coefficient D, pour pouvoir en déduire les trois autres. Quant à D, on l'obtient, soit en appliquant sa loi de formation, qui est fort simple, soit en recourant à un procédé mnémotechnique encore plus simple.

Ces coefficients étant connus permettent d'écrire immédiatement les valeurs des abscisses des quatre points *cardinaux* du système, et, par suite, les longueurs focales. On a, en effet, en désignant par q_φ et q'_φ les abscisses des points *focaux,* par φ et φ' les *longueurs focales,* par h et h' les abscisses des points *principaux,*

$$(3)\qquad q_\varphi = \frac{A}{D} = a, \quad q'_\varphi = \frac{B}{D} = b,$$

$$(4)\qquad \varphi = \frac{P(f)}{D}, \quad \varphi' = \frac{P(f')}{D},$$

$$(5)\qquad h = q_\varphi + \varphi, \quad h' = q'_\varphi + \varphi'.$$

On démontre alors qu'en prenant pour origines des abscisses, non plus les points focaux extrêmes des dioptres composants, mais les points focaux du système, on transforme les équations primitives (1) et (2) en équations simplifiées

$$(6)\qquad \chi\chi' = \varphi\varphi',$$

$$(7)\qquad G = \frac{\varphi}{\chi} = \frac{\chi'}{\varphi'}.$$

Les relations (5) donnent encore

$$(8)\qquad \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{P(f')}{P(f)} = \frac{m_n}{m_0},$$

m_0 et m_n étant les indices de réfraction des milieux extrêmes, et les pouvoirs dioptriques du système

$$(9) \qquad \Phi = \frac{1}{\varphi} = D \times P(F) \ldots \Phi' = \frac{1}{\varphi'} = D \times P(F') \ldots.$$

Ajoutons la relation

$$c = ab - \varphi\varphi'.$$

En sus des deux couples de points cardinaux, M. Monoyer considère huit autres couples de *points dioptriques,* qui présentent tous des propriétés intéressantes à divers titres, et dont les abscisses simplifiées sont la plupart dans des rapports simples avec les longueurs focales du système; de là, un moyen facile de les calculer sans recourir aux équations primitives. Les points *anti-principaux, symptosiques, oculaires* et *cofocaux* se rencontrent, avec les points cardinaux, en général, dans tous les systèmes dioptriques, tandis que les points *nodaux, équidistants, anti-nodaux* et *anti-équidistants,* sont spéciaux aux systèmes *inéquifocaux.*

L'existence de tous ces points, à l'exception des oculaires et des cofocaux, est liée à celle des points focaux. Mais, quand ces derniers viennent à manquer dans un système, auquel cas $D = 0$, les points cofocaux s'y trouvent à coup sûr; ils peuvent alors suppléer à l'absence des premiers, soit pour obtenir aussi des équations simplifiées, soit pour faciliter les constructions géométriques. En appelant q et q'_0 les abscisses primitives de ces points, on trouve

$$(11) \qquad q_0 = \frac{C}{B} = \frac{c}{b},$$

$$(12) \qquad q'_0 = \frac{C}{A} = \frac{c}{a}.$$

M. Monoyer termine en proposant une classification et une notation des systèmes dioptriques, basées sur la position relative des points cardinaux.

En représentant les points focaux par Φ, Φ', les points principaux par H, H', et en écrivant ces symboles dans l'ordre suivant lequel sont placés les points ainsi désignés, on figure le dispositif d'un système, tel que

$$H\Phi\Phi'H', \quad \Phi HH'\Phi', \quad H'\Phi'\Phi H, \quad \Phi'H'H\Phi.$$

Le nombre possible des combinaisons est réduit à 12 par cette circonstance que les deux longueurs focales sont toujours de même signe.

A l'aide des qualificatifs *homonyme* et *croisé*, indiquant l'ordre des points focaux, *endotère* et *exotère*, désignant la position des points principaux, en dedans ou en dehors des points focaux, et du préfixe *mi*, dans le cas où les deux couples de points alternent, on parvient à dénommer les douze dispositifs en question.

Sur un baromètre à gravité; par M. Mascart.

Les variations de la pesanteur en différents points de la surface du globe peuvent être évaluées par les variations de hauteur de la colonne de mercure qui fait équilibre à la pression d'une même masse de gaz dont la température reste constante. L'idée de cette méthode est très ancienne, mais il ne semble pas qu'elle ait été mise en pratique. Toutefois, à propos d'une Communication que j'ai présentée à l'Académie des Sciences (1) sur ce sujet, M. Boussingault a rappelé que, pendant son séjour à l'Équateur, il avait installé près des mines de Marmato, à l'altitude de 1600^{m}, un appareil destiné à rechercher si, dans une même localité, la pesanteur n'éprouverait pas des variations dans son intensité, analogues à celles du magnétisme. Cet appareil était construit de la manière suivante :

« Dans un ballon en verre épais, d'une capacité de 8^{lit}, on a établi un baromètre plongeant dans une petite cuvette pleine de mercure. Le tube gradué portait un curseur muni d'un vernier, permettant d'apprécier une longueur de $\frac{1}{20}$ de millimètre. Le ballon, après avoir été rempli d'air sec, a été fermé. La partie supérieure du tube, sortant en dehors du vase, avait environ $0^{m},40$. L'air sec enfermé était soumis à une pression d'à peu près 640^{mm}. »

Le ballon a été enterré dans le sol d'une galerie de la mine d'argent de *Sachafruto,* abandonnée depuis longtemps et où la température de l'air a été constamment de $20^{\circ},5$. Les observations, commencées quelques jours après, n'indiquèrent aucune variation de la colonne barométrique.

Un changement de $\frac{1}{20}$ de millimètre correspondrait dans cette expérience à un changement dans la longueur du pendule à peu près moitié moindre que celui qu'on observe entre Paris et Dunkerque.

Je crois qu'il est possible d'atteindre une approximation plus

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. XCV, p. 127; 1882.

grande, en améliorant le procédé de visée du mercure, et l'appareil peut être utilisé dans les voyages, si l'on prend des précautions convenables pour évaluer les changements de température.

L'appareil dont je me suis servi se compose d'une sorte de baromètre à siphon dont la courte branche A (*fig.* 1) est fermée et renferme une certaine quantité de gaz. Pour éviter l'oxydation du mercure et la perte de pression qui en résulterait, on peut em-

Fig. 1.

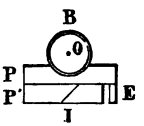
ployer de l'acide carbonique, de l'hydrogène, ou mieux encore de l'azote. Le gaz est introduit à une pression assez grande pour faire équilibre à une colonne de mercure de 1^m environ lorsque le tube est tenu verticalement.

Après plusieurs essais pour la monture, je me suis arrêté à la disposition suivante. Le tube, encastré et retenu par des brides

dans une planchette de bois, est placé pour l'observation dans un cylindre de fer-blanc rempli d'eau, où il est soutenu par une suspension à la Cardan. Une petite partie de la grande branche B, dans laquelle se trouve le niveau supérieur du mercure, émerge seule du liquide. On agite l'eau en y insufflant de l'air avec une poire de caoutchouc, et l'on y plonge un thermomètre divisé en cinquantièmes de degré. Lorsque l'appareil a été abandonné dans une salle pendant plusieurs heures, les variations de température deviennent très lentes et, si le liquide est convenablement agité, les erreurs que l'on commet dans les lectures du thermomètre ne dépassent pas $\frac{1}{100}$ de degré.

Le niveau du mercure s'observe à l'aide d'une échelle collée sur le tube barométrique lui-même, et disposée de manière à éliminer toute erreur de parallaxe. On applique d'abord sur le tube une lame de verre P (*fig.* 2), creusée en forme de len-

Fig. 2.



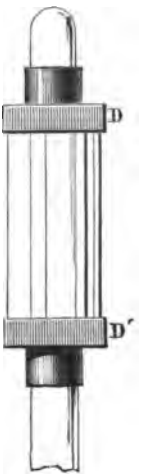
tille concave cylindrique; sur cette première lame est collée une seconde lame P', coupée en deux fragments par une section à 45°. L'un des bords de la fente I est couvert d'une mince couche d'or déposée chimiquement, d'un bleu verdâtre par transparence, au travers de laquelle il est facile d'observer le mercure.

Sur le côté de la lame P' se trouve l'échelle divisée E, à une distance telle que l'image virtuelle des divisions, vue sur la surface dorée, soit située dans un plan qui passe par l'axe même O du tube barométrique. L'emploi d'une couche d'or transparente, suivant les indications de M. Govi, pour observer en même temps deux objets situés dans des directions différentes, donne d'excellents résultats. Dans le cas actuel, elle permet de déterminer, sans erreur de parallaxe, la division à laquelle correspond le niveau du mercure.

Pour que ces différentes pièces de verre n'éprouvent pas de déplacement, elles sont mastiquées aux deux extrémités dans deux

montures de métal D et D′ (*fig.* 3), et ces dernières sont munies

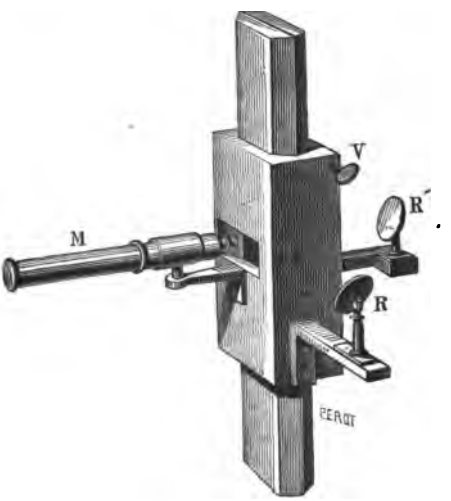
Fig. 3.



de douilles cylindriques mastiquées elles-mêmes sur le tube barométrique.

Sur la planchette glisse un manchon en bois qui porte un mi-

Fig. 4.



croscope horizontal M (*fig.* 4), mobile autour d'un axe vertical, et

deux réflecteurs R et R′ articulés, qui permettent d'éclairer les divisions et le niveau du mercure. Une seule lampe ou même une bougie suffit pour obtenir un bon éclairage. L'échelle est divisée en dixièmes de millimètre et le grossissement du microscope est assez grand pour permettre d'apprécier les dixièmes de division, c'est-à-dire les centièmes de millimètre. On maintient le manchon à une hauteur convenable par une vis de pression V.

L'une des plus grandes difficultés consiste précisément dans l'observation du mercure. On pourrait commettre des erreurs graves sur le pointé de la ligne qui paraît limiter la surface, suivant la direction des rayons de lumière qui servent à l'éclairer: ces rayons doivent être horizontaux et il faut des précautions particulières pour éviter les reflets irréguliers.

Pour calculer les observations, nous supposerons d'abord que l'on a fait en un même lieu, où l'accélération est g, une série de lectures à des températures différentes. Soient :

h_0 la différence des niveaux du mercure dans les deux branches à la température de zéro;

h la différence des niveaux à la température t, mesurée sur le tube de verre;

δ l'élévation apparente du niveau supérieur du mercure de 0° à t°, et s la section correspondante du tube;

Δ l'abaissement du niveau inférieur et S la section du tube;

$P_0 = h_0$ la pression du gaz à la température de zéro, évaluée en colonne de mercure;

P la pression à la température t;

α, β, γ les coefficients de dilatation du gaz, du mercure et du verre;

V_0 et V les volumes du gaz aux températures de 0° et de t°;

U_0 et U les volumes de la masse du mercure.

On a d'abord

$$(1)\quad \begin{cases} h = h_0 + \delta + \Delta = h_0\left(1 + \dfrac{\delta + \Delta}{h_0}\right), \\ P = h\,\dfrac{1+\gamma t}{1+\beta t} = h_0\left(1 + \dfrac{\delta + \Delta}{h_0}\right)\dfrac{1+\gamma t}{1+\beta t}, \\ V = V_0(1 + 3\gamma t) + S\Delta = V_0\left(1 + 3\gamma t + \dfrac{S\Delta}{V_0}\right). \end{cases}$$

Les lois de Mariotte et de Gay-Lussac donnent

$$V_0P_0 = \frac{VP}{1+\alpha t} = V_0P_0\left(1+3\gamma t+\frac{S\Delta}{V_0}\right)\left(1+\frac{\delta+\Delta}{h_0}\right)\frac{1+\gamma t}{(1+\alpha t)(1+\beta t)}$$

ou, en négligeant les quantités du second ordre,

$$(2)\qquad (\alpha+\beta-4\gamma)t = \frac{S\Delta}{V_0}+\frac{\delta+\Delta}{h_0} = \alpha t\left(1+\frac{\beta-4\gamma}{\alpha}\right).$$

On a, d'autre part, pour le mercure,

$$U = U_0(1+\beta t) = U_0(1+\gamma t)+\sigma\delta - S\Delta,$$

d'où l'on déduit

$$(3)\qquad \begin{cases} S\Delta = s\delta - U_0(\beta-\gamma)t, \\ \dfrac{\delta+\Delta}{h_0} = \dfrac{\delta}{h_0}\left(1+\dfrac{s}{S}\right) - \dfrac{U_0}{Sh_0}(\beta-\gamma)t. \end{cases}$$

Substituant ces valeurs dans l'équation (2), il vient

$$(4)\qquad \frac{\alpha t}{\delta} = \frac{1}{h_0}\,\frac{1+\dfrac{s}{S}+\dfrac{sh_0}{V_0}}{1+\dfrac{\beta-4\gamma}{\alpha}+\dfrac{\beta-\gamma}{\alpha}\,\dfrac{U_0}{V_0}\left(1+\dfrac{V_0}{Sh_0}\right)} = \alpha a.$$

L'expérience vérifie, en effet, que les variations du niveau apparent du mercure sont proportionnelles aux variations de température. On détermine ainsi le rapport constant $\frac{t}{\delta} = a$, par le calcul ou par une construction graphique. On en déduit, en particulier, la lecture qui correspond à une température quelconque.

Supposons maintenant qu'à la même température t on observe l'instrument dans un autre lieu où l'accélération de la pesanteur est g'. Soient δ' le déplacement du niveau supérieur du mercure quand on passe de la première station à la seconde, Δ' le déplacement inférieur, h' la différence du niveau, et V' le volume du gaz. On a

$$V' = V + S\Delta' = V\left(1+\frac{\delta\Delta'}{V}\right),$$

$$h' = h+\delta'+\Delta' = h\left(1+\frac{\delta'+\Delta'}{h}\right).$$

La loi de Mariotte donne

$$Vgh = V'g'h' = Vhg'\left(1+\frac{S\Delta'}{V}\right)\left(1+\frac{\delta'+\Delta'}{h}\right).$$

William Grossteste
Ingenieur

Comme on a, dans le cas actuel, $S\Delta' = s\delta'$, il en résulte, en négligeant les termes du second ordre,

$$(5) \qquad \frac{g-g'}{g'} = \frac{s\delta'}{V} + \frac{\delta'}{h}\left(1+\frac{s}{S}\right) = \frac{\delta'}{h}\left(1+\frac{s}{S}+\frac{sh}{V}\right).$$

Si l'on remarque que le terme $\frac{sh}{V}$ peut être remplacé sans erreur sensible par $\frac{sh_0}{V_0}$, on obtient, en comparant les équations (4) et (5),

$$\frac{g-g'}{g'} = \delta' a\alpha\frac{h_0}{h}\left[1+\frac{\beta-4\gamma}{\alpha}+\frac{\beta-\gamma}{\alpha}\frac{U_0}{V_0}\left(1+\frac{V_0}{Sh_0}\right)\right].$$

Les termes de la parenthèse qui suivent l'unité sont petits et le dernier peut être évalué simplement avec une approximation suffisante. Si la courte branche A du baromètre est sensiblement cylindrique et qu'on appelle H la hauteur occupée par le gaz, on a $V_0 = SH$, ce qui donne

$$\frac{g-g'}{g'} = \delta' a\alpha\frac{h_0}{h}\left[1+\frac{\beta-4\gamma}{\alpha}+\frac{\beta-\gamma}{\alpha}\frac{U_0}{V_0}\left(1+\frac{H}{h_0}\right)\right].$$

Le rapport $\frac{h_0}{h}$ diffère peu de l'unité. On peut d'ailleurs le remplacer par la valeur très approchée

$$\frac{h_0}{h} = \frac{1}{1+\frac{\delta}{h_0}\left(1+\frac{s}{S}\right)}.$$

On obtient finalement, pour exprimer la variation relative de l'accélération, ou, ce qui revient au même, celle de la longueur du pendule à secondes,

$$(6) \qquad \frac{g-g'}{g'} = a\alpha\delta'\frac{1+\frac{\beta-4\gamma}{\alpha}+\frac{\beta-\gamma}{\alpha}\frac{U_0}{V_0}\left(1+\frac{H}{h_0}\right)}{1+\frac{\delta}{h_0}\left(1+\frac{s}{S}\right)}.$$

Supposons, par exemple, qu'on ait employé de l'acide carbonique. On a alors

$$\alpha = 0{,}00371,$$
$$\beta = 0{,}00018,$$
$$\gamma = 0{,}000025.$$

Si les rapports $\frac{U_0}{V_0}$ et $\frac{H}{h_0}$ sont égaux à $\frac{1}{2}$ et le rapport $\frac{s}{S}$ égal à $\frac{1}{4}$, ce qui représente à peu près les conditions de l'appareil, on aura

$$\frac{g-g'}{g'} = a\delta' \frac{0,003906}{1+\frac{5}{4}\frac{\delta}{h_0}}.$$

J'ai profité de quelques voyages pour essayer de vérifier par expérience si l'instrument ainsi construit possède bien la sensibilité qu'on peut en espérer et surtout s'il est capable de résister aux secousses de toute nature qu'on ne peut jamais éviter dans les transports. Une première excursion à Toulouse et au Pic du Midi n'a pas réussi; je m'étais astreint à tenir le baromètre incliné, de façon que le mercure restât à la partie inférieure de la courte branche, mais à la montée et à la descente de la montagne le gaz s'est introduit dans la grande branche et les comparaisons n'ont pas été possibles. J'ai disposé ensuite le tube de manière qu'on pût le renverser, comme on le fait pour le baromètre de Fortin.

Un instrument semblable a été observé successivement à Paris, Hambourg, Stockholm, Drontheim et Tromsö.

Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau suivant. La première colonne donne la variation relative $\frac{g'-g}{g'}$ de la gravité, ou de la longueur du pendule à secondes, entre la station considérée et Paris, calculée par la loi du sinus carré de la latitude, sans tenir compte des différences de hauteur au-dessus du niveau de la mer, qui étaient d'ailleurs très faibles ; la seconde renferme les mêmes valeurs déduites des observations. Dans la quatrième colonne on a indiqué les variations *dl* que produiraient les différences du calcul et de l'observation sur la longueur du pendule à secondes et, dans la cinquième, l'erreur de temps *dt* correspondante pendant vingt-quatre heures :

	$g'-g$		Différence		
	Calcul.	Observ.	$c-o$.	*dl*.	*dt*.
				mm	″
Hambourg.....	0,00042	0,00039	0,00003	+0,03	1,2
Stockholm.....	0,00090	0,00087	0,00003	+0,03	1,2
Drontheim.....	0,00121	0,00097	0,00024	+0,24	10,4
Tromsö.....	0,00162	0,00155	0,00007	+0,07	3,0

Si l'on met à part le résultat relatif à Drontheim, qui paraît erroné, ces nombres indiqueraient un accroissement de la gravité un peu moindre que la théorie. D'ailleurs, je ne puis pas insister sur les valeurs numériques de ces comparaisons, parce que l'instrument laissait beaucoup à désirer. L'échelle étant trop courte pour permettre des observations entre des limites de température très étendues, il a été souvent nécessaire de refroidir le liquide du bain extérieur afin de maintenir le niveau du mercure dans les limites de l'échelle, condition très désavantageuse qui ne permettait pas d'obtenir une température suffisamment invariable.

J'avais surtout pour but de vérifier si l'appareil est facilement transportable et s'il est susceptible d'une précision comparable à celle que comporte l'observation du pendule. Les différents modes de transport auxquels on est obligé d'avoir recours dans un voyage en Norvège sont assez variés pour que l'épreuve puisse paraître suffisante, et la chambre barométrique était, au retour, aussi bien purgée de gaz qu'avant le départ.

SÉANCE DU 6 JUILLET 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Gosse, Préparateur au Lycée Saint-Louis.
Rigaud, Docteur en médecine, à Paris.
Rigoult, Préparateur de Chimie à l'École nationale des Mines.

M. le Président annonce à la Société la perte regrettable qu'elle vient d'éprouver en la personne de M. William Spottiswoode, Président de la Société royale de Londres, Membre à vie de la Société.

M. Marey présente à la Société des photographies reproduisant sur une même plaque les différentes phases du mouvement dans la marche, la course ou le vol.

Pour obtenir les diverses attitudes de l'homme, M. Marey fait marcher ou courir devant un fond noir une personne habillée de blanc; en avant de l'objectif, tourne rapidement un disque percé de fenêtres équidistantes;

chaque fois qu'une de ces fenêtres passe devant l'objectif, il se produit sur la plaque une image du coureur dans une attitude différente.

On obtient sur la plaque des phases très rapprochées en multipliant le nombre des ouvertures du disque; mais les images finissent par empiéter les unes sur les autres. Pour éviter cette confusion, tout en reproduisant des phases très voisines, M. Marey fait revêtir au coureur un costume noir, portant des boutons brillants disposés en ligne suivant la direction des jambes, des cuisses, des bras, etc.

Ces lignes brillantes apparaissent seules sur la plaque et elles suffisent à représenter parfaitement la position des membres pendant le mouvement.

L'échelle est donnée par une horizontale, présentant des rectangles de $0^m,50$ de longueur alternativement blancs et noirs, et qui est photographiée en même temps que le coureur.

Pour indiquer exactement le temps qui sépare deux attitudes successives, M. Marey dispose sur le fond noir une aiguille brillante faisant un tour par seconde. Cette aiguille impressionne la plaque chaque fois qu'une fenêtre du disque passe devant l'objectif. L'angle que forment entre elles deux positions de l'aiguille donne ainsi le temps qui s'est écoulé entre deux attitudes du coureur représentées sur la plaque.

Pour faciliter le repérage, une des fenêtres sur cinq présente une plus grande largeur et donne une image plus brillante.

M. Monoyer achève l'exposé de sa théorie des systèmes dioptriques. (Le résumé de sa Communication a déjà paru dans le *Compte rendu* de la séance précédente.)

Analyse des mouvements du vol des oiseaux par la photographie; par M. Marey.

Lorsqu'on prend sur la même plaque une série de photographies représentant les attitudes successives d'un animal, on cherche naturellement à multiplier ces images pour connaître le plus grand nombre possible de phases du mouvement. Mais, quand la translation de l'animal n'est pas rapide, la fréquence des images est bientôt limitée par leur superposition et par la confusion qui en résulte. Ainsi, un homme qui court, même avec une vitesse modérée, peut-être photographié dix fois par seconde, sans que les images se confondent. Si, parfois, une jambe vient se peindre en un lieu où une autre jambe avait déjà laissé son empreinte, cette superposition n'altère point les images : les blancs deviennent seulement plus intenses aux endroits où la plaque a été deux fois impres-

sionnée, de sorte que les contours des deux membres se distinguent encore aisément. Mais, quand l'homme marche lentement, les images présentent des superpositions si nombreuses qu'il en résulte une grande confusion.

C'est pour remédier à cet inconvénient que j'ai eu recours à la *photographie partielle,* c'est-à-dire que j'ai supprimé certaines parties de l'image pour que le reste fût plus facile à comprendre.

Comme, dans la méthode que j'emploie, les objets blancs et éclairés impressionnent seuls la plaque sensible, il suffit d'habiller de noir les parties du corps qu'on veut retrancher de l'image. Si un homme revêtu d'un costume mi-partie blanc et noir marche sur la piste en tournant du côté de l'appareil photographique la partie blanche de son vêtement, la droite par exemple, on le verra dans les images comme s'il était réduit à la moitié droite de son corps.

Ces images permettent de suivre dans leurs phases successives, d'une part le pivotement du membre inférieur autour du pied pendant le temps de l'appui, et d'autre part, pendant celui du levé, l'oscillation de ce même membre autour de l'articulation coxo-fémorale, en même temps que cette articulation se transporte en avant d'une manière continue.

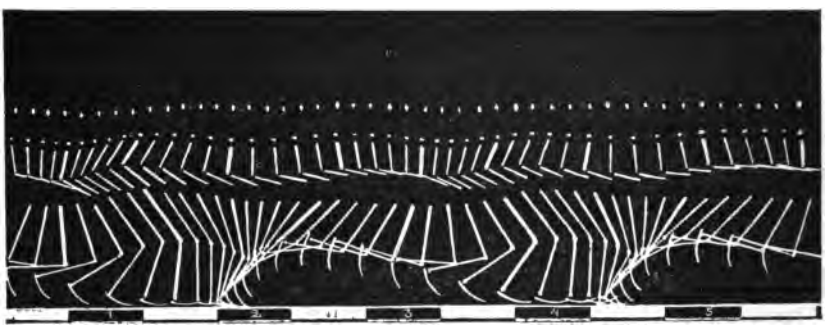
Les photographies partielles sont utiles aussi dans l'analyse des mouvements rapides, parce qu'elles permettent de multiplier beaucoup le nombre des attitudes représentées. Toutefois, comme l'image d'un membre présente encore une assez grande largeur, on ne peut multiplier beaucoup ces photographies partielles, sous peine de les confondre par superposition. J'ai donc cherché à diminuer la largeur des images, afin de les répéter à des intervalles extrêmement courts. Le moyen consiste à revêtir le marcheur d'un costume entièrement noir, sauf d'étroites bandes de métal brillant qui, appliquées le long de la jambe, de la cuisse et du bras, signalent assez exactement la direction des rayons osseux de ces membres.

Cette disposition permet de décupler aisément le nombre des images recueillies en un temps donné sur une même plaque : ainsi, au lieu de dix photographies par seconde, on en peut prendre 100. Pour cela, on ne change pas la vitesse de rotation du disque; mais,

au lieu de le percer d'une seule fenêtre, on en fait dix semblables et également réparties sur toute la circonférence [1].

La figure que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie est faite d'après un des clichés projetés à la lanterne magique; les lignes ponctuées ont été transformées en traits pleins. Cette figure montre les phases successives d'un pas de course. Le membre inférieur gauche y est seul représenté : des lignes pleines correspondent à la cuisse à la jambe et au pied; des points, aux articulations du pied, du genou et de la hanche.

Cette figure exprime déjà assez clairement les alternatives de flexion et d'extension de la jambe sur la cuisse, les trajectoires onduleuses du pied, du genou et de la hanche, et pourtant le nombre des images n'excède pas 60 par seconde. Un disque obturateur percé de fenêtres plus nombreuses donnerait avec bien



Course de l'homme, attitudes successives du membre inférieur gauche. Fréquence des images, 60 par seconde environ.

plus de perfection les déplacements angulaires de la jambe sur la cuisse et les trajectoires des trois articulations.

Plus on donne de finesse aux lignes ponctuées qui expriment la direction des membres, plus on peut multiplier le nombre des images; mais, dans les cas présents, il est plus que suffisant d'avoir soixante fois par seconde l'indication des déplacements du marcheur.

---

[1] Il est souvent avantageux de donner à l'une des fenêtres un diamètre double de celui des autres; il en résulte une intensité plus grande de l'une des images et cela facilite l'estimation des temps, en même temps que cela fournit des points de repère pour comparer les mouvements des membres inférieurs à ceux des membres supérieurs. (Voir *Comptes rendus*, t. XCV.)

On voit que, dans la méthode d'analyse photographique, les deux facteurs du mouvement, le temps et l'espace, ne peuvent pas être tous deux estimés d'une manière parfaite. La connaissance des positions que le corps a occupées dans l'espace suppose qu'on possède des images complètes et distinctes; or il faut, pour avoir de telles images, laisser un intervalle de temps assez long entre deux photographies successives. Veut-on, au contraire, porter à la perfection la notion du temps, on n'y peut arriver qu'en augmentant beaucoup la fréquence des images, ce qui force à réduire chacune d'elles à certaines lignes. On concilie autant que possible ces deux exigences opposées en choisissant pour les photographies partielles les lignes et les points qui renseignent le mieux sur les attitudes successives du corps.

Il est curieux de voir que cette expression des attitudes successives du corps et des membres, au moyen d'une série de traits exprimant la direction des rayons osseux, ait été précisémen adoptée par d'anciens auteurs comme étant la plus explicite et la plus capable de faire bien comprendre les phases d'un mouvement. Ainsi, Vincent et Goiffon, dans leur remarquable Ouvrage sur le cheval [1], ont essayé de représenter par des lignes diversement brisées les déplacements des rayons osseux des membres aux différents temps d'un pas [2].

Il n'est pas nécessaire d'insister sur la supériorité que présente la Photographie, qui donne les positions véritables des membres, sur l'observation directe, incapable de saisir des actes si rapides et d'apprécier de si courtes durées.

Au commencement de ce siècle, les frères Weber ont aussi eu recours au même mode de représentation pour exprimer les actes successifs qui se produisent dans la marche de l'homme. C'est en réduisant le marcheur à la figure d'un squelette que ces éminents

---

(1) *Mémoire artificielle des principes relatifs à la fidèle représentation des animaux tant en peinture qu'en sculpture;* par feu Guiffon et M. Vincent, 1776.

(2) Il est regrettable que ces savants aient eu recours à une méthode tout à fait artificielle pour exprimer le sens du mouvement. Au lieu de représenter les déplacements successifs des membres dans l'espace, ils supposent le cheval immobile et montrent les rayons osseux de ses membres oscillant en sens alternatif autour de l'articulation supérieure.

observateurs ont réussi à juxtaposer, sans les confondre, un grand nombre d'images exprimant des attitudes différentes.

La manière de construire les bandes brillantes qui, dans la photographie, expriment la position des leviers osseux mérite une mention spéciale. Comme le temps de pose doit être très court, il faut employer une matière d'un grand éclat. Des bandes de métal brillant ne sont pas également lumineuses dans toute leur étendue, parce qu'elles ne réfléchissent pas sous le même angle les rayons solaires; elles produisent sur les épreuves des lignes d'intensité inégale. J'ai obtenu de meilleurs résultats avec de petites bandes de bois noir sur lesquelles étaient plantés, suivant une ligne, des clous de métal brillant à têtes hémisphériques. Sur chacune de ces surfaces arrondies se formait une image du Soleil, image extrêmement petite, mais très brillante. Dans la photographie, cette série de clous brillants donnait naissance à une ligne ponctuée. Au niveau de la cheville du pied, du genou, du grand trochanter, des demi-sphères plus grosses que les autres signalaient dans les images les centres de mouvement par un point de grande dimension.

Les photographies partielles obtenues par cette méthode permettent d'analyser les différents actes de la locomotion, aussi bien les mouvements sur place que la marche, la course ou le saut.

Théorie générale des systèmes dioptriques centrés;
par M. F. Monoyer.

En substituant aux formules de la Géométrie analytique employées par Gauss celles de l'Algèbre élémentaire, on rend la théorie des systèmes dioptriques accessible à un plus grand nombre de personnes, sans diminuer en rien l'exactitude des résultats. Cette substitution offre, en outre, l'avantage de conduire immédiatement à des équations *primitives,* parfois indispensables et souvent plus commodes que les *simplifiées,* pour résoudre la plupart des problèmes qui se rattachent à l'association des dioptres. Enfin, grâce à un heureux choix des quantités sur lesquelles j'opère, j'obtiens des expressions algébriques incomparablement

moins compliquées que celles des auteurs qui m'ont précédé dans la même voie.

I. — Équations primitives des abscisses conjuguées.

1. *Relations générales entre les abscisses conjuguées.* — Étant donné un système centré, formé par la réunion de *dioptres simples* [1], ou eux-mêmes composés, en nombre quelconque, et déterminés chacun par ses deux longueurs focales (f_1, f'_1), (f_2, f'_2), ..., (f_n, f'_n), si l'on désigne par $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_{n-1}$, les distances du second point focal de chaque dioptre au premier point focal du dioptre suivant, par q et q^n les abscisses de deux foyers conjugués quelconques, comptées la première à partir du premier point focal du premier dioptre, la seconde à partir du second point focal du dernier dioptre, on obtient à volonté

$$[1] \qquad q = \cfrac{f_1 f'_1}{\delta_1 - \cfrac{f_2 f'_2}{\delta_2 - \cfrac{f_3 f'_3}{\cdots\cdots\cdots\cdots \delta_{n-1} - \cfrac{f_n f'_n}{q^n}}}}$$

ou

$$[1\ bis] \qquad q^n = \cfrac{f_n f'_n}{\delta_{n-1} - \cfrac{f_{n-1} f'_{n-1}}{\delta_{n-2} - \cfrac{f_{n-2} f'_{n-2}}{\cdots\cdots\cdots \delta_1 - \cfrac{f_1 f'_1}{q}}}}.$$

On trouvera ces fractions continues en déterminant successivement, pour chaque dioptre du système, la relation qui existe entre l'image fournie par le dioptre précédent et celle à laquelle il donne lui-même naissance.

Si l'on appelle q et q', $q_{\prime\prime}$ et q'', ..., q_n et q^n les abscisses des deux

---

[1] J'appelle *dioptre simple* l'ensemble de deux milieux de réfringence différente, séparés l'un de l'autre par une surface unique. La réunion de deux ou plusieurs dioptres simples, de position invariable, constitue un *dioptre composé;* dans ce cas, chacun des milieux intérieurs fait partie de deux dioptres consécutifs. Les lentilles, par exemple, sont des dioptres *binaires* ou *doubles*.

foyers conjugués relatifs à chaque dioptre, on a, d'après les formules connues des dioptres simples,

$$(1)\qquad \begin{cases} qq' = f_1 f'_1, \\ q_{\prime\prime} q'' = f_2 f'_2, \\ \dots\dots\dots\dots, \\ q_n q^n = f_n f'_n. \end{cases}$$

et, d'autre part,

$$(2)\qquad \begin{cases} \delta_1 = q' + q_{\prime\prime}, \\ \delta_2 = q'' + q_{\prime\prime\prime}, \\ \dots\dots\dots\dots\dots, \\ \delta_{n-1} = q^{n+1} + q_n, \end{cases}$$

attendu que l'image fournie par un dioptre sert d'objet pour le dioptre suivant.

Il ne reste plus alors qu'à éliminer, entre ces deux groupes d'équations, toutes les abscisses intermédiaires $q_{\prime\prime}$, $q_{\prime\prime\prime}$, ..., q_n et q', q'', ..., q^{n-1}. On obtient alors l'une ou l'autre des fractions continues, suivant l'ordre dans lequel on opère les éliminations, suivant qu'on procède en allant du premier au dernier dioptre ou en sens inverse.

En effectuant les opérations indiquées dans une fraction continue, on la ramène à la forme de *réduite* n'ayant plus que deux termes, le numérateur $\mathfrak{N}$ et le dénominateur $\mathfrak{D}$.

Représentons par

$$q^n = \frac{\mathfrak{N}_n}{\mathfrak{D}_n}$$

la réduite relative à un système de n dioptres; la réduite du $(n+1)^{\text{ième}}$ système sera donnée par l'expression générale

$$(3)\qquad q^{n+1} = \frac{f_{n+1} f'_{n+1}}{\delta_n - q^n} = \frac{f_{n+1} f'_{n+1} \mathfrak{D}_n}{\delta_n \mathfrak{D}_n - \mathfrak{N}_n}.$$

2. *Valeur de* δ. — Les quantités δ qui entrent dans nos formules et qui leur impriment un tel cachet de simplicité et d'élégance, ne figurent pas habituellement parmi les données d'un problème; celles-ci comprennent les distances mutuelles d_1, d_2, ..., d_n des dioptres eux-mêmes, ou, si ces derniers sont composés, la distance entre le second point principal de chaque dioptre et le premier point principal du dioptre suivant. On aura donc à faire usage de

la relation suivante :

$$\delta_n = d_n + f'_n + f_{n+1}, \tag{4}$$

laquelle suppose les longueurs focales f'_n et f_{n+1} *positives,* c'est-à-dire comptées du côté des abscisses positives, par rapport aux points focaux qui servent d'origine des distances. Dans ces conditions, les dioptres simples convergents et les lentilles convergentes sont à regarder comme ayant leurs longueurs focales *négatives,* auquel cas la relation précédente devient

$$\delta_n = d_n - f'_n - f_{n+1}. \tag{5}$$

Cette dernière valeur de δ peut être positive ou négative, suivant qu'on a

$$d_n > f'_n + f_{n+1} \quad \text{ou} \quad d_n < f_n + f_{n+1}.$$

3. *Relations entre les coefficients de l'équation primitive.* — Je suppose maintenant qu'on ait dressé le tableau des réduites de l'une ou l'autre des fractions continues, pour un très grand nombre de systèmes, depuis 1 jusqu'à n dioptres. Si l'on chasse le dénominateur de chaque réduite et qu'on mette en facteur commun les variables q, q^n et qq^n, on arrive toujours, quel que soit le nombre des dioptres composants, à une équation du second degré de la forme

$$f_1 f'_1 A' q^n + f_n f'_n B' q = f_1 f'_1 f_n f'_n C' + D q q^n, \tag{II}$$

qui représente une hyperbole dont les asymptotes sont parallèles aux axes coordonnés.

Or, quand on considère trois systèmes consécutifs, composés respectivement de $(n-1)$, n, $(n+1)$ dioptres, on constate que les coefficients des trois équations correspondantes présentent entre eux les relations suivantes :

$$\left\{\begin{aligned} A'_{n+1} &= \delta_n A'_n - f_n f_n A'_{n-1}, \\ B'_{n+1} &= \delta_{n-1} B'_n - f_{n-1} f'_{n-1} B'_{n-1}, \\ C'_{n+1} &= \delta_{n-1} C'_n - f_{n-1} f'_{n-1} C'_{n-1}, \\ D_{n+1} &= \delta_n D_n - f_n f'_n D_{n-1} \end{aligned}\right. \tag{6}$$

et

$$\left\{\begin{aligned} A'_{n+1} &= B'_{n+1(+1)} = D_{n(+1)}, \\ B'_{n+1} &= D_n, \\ C'_{n+1} &= A'_n = D_{n-1(+1)}. \end{aligned}\right. \tag{7}$$

La notation $(+1)$ ajoutée à l'indice d'un coefficient signifie

qu'il faut augmenter d'*une* unité les indices de toutes les quantités, δ et ff', qui entrent dans l'expression de ce coefficient.

Ces relations montrent que, pour former l'équation relative à un système d'un nombre quelconque de dioptres, il suffit de connaître le coefficient D correspondant.

4. *Formation du coefficient* D. — En raison de l'importance de ce coefficient, nous allons indiquer deux manières de l'obtenir.

1° Partant de $D_2 = \delta_1$ relatif au système binaire, on calcule successivement D_3, D_4, ..., D_n, en appliquant la loi de formation

$$D_{n+1} = \delta_n D_n - f_n f'_n D_{n-1}.$$

En mettant chaque fois le nouveau δ_n en facteur commun, à la droite du D_n qu'on vient de former et dont le sépare un trait vertical, on n'a pas à répéter inutilement des termes déjà inscrits; il suffit de reproduire au-dessous le D_{n-1} correspondant, précédé d'une accolade devant laquelle on place $f_n f'_n$ en facteur commun.

Nous donnons ci-après, comme exemple de ce dispositif, la valeur de D_7 ; pour ménager la place, nous avons supposé que les dioptres composants avaient leurs deux longueurs focales égales, ce qui nous a permis de remplacer les produits ff' par f^2.

Dans un tableau ainsi disposé, on trouve, non seulement la valeur du D pour lequel il a été formé, mais encore tous les D précédents : pour avoir, par exemple, D_6, on prendra les deux groupes de termes commandés, l'un par δ_5 et l'autre par f_5^2.

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c}
\delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \delta_4 & \delta_5 & \delta_6 \\
 & -f_2^2 & & & & \\
 & -f_3^2 \left\{ \right. & \delta_1 & & & \\
 & -f_4^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \delta_2 & & \\
 & & & -f_2^2 & & \\
 & -f_5^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \\
 & & & -f_2^2 & & \\
 & & & -f_3^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \\
 & -f_6^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \delta_4 \\
 & & & -f_2^2 & & \\
 & & & -f_3^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \\
 & & & -f_4^2 \left\{ \right. & \delta_1 & \delta_2 \\
 & & & & & -f_2^2
\end{array}$$

2° Voici, d'autre part un procédé mnémotechnique des plus simples :

Sur une ligne horizontale, on écrit, par ordre croissant d'indice, tous les δ du système proposé. Au-dessous, on reproduit une série de rangées semblables, dérivées de la première par la suppression d'un δ et le changement du suivant en un produit ff' (ou f^2, si le dioptre considéré est équifocal) de même indice que le δ remplacé; on répète cette double opération jusqu'à ce que le dernier δ ait été remplacé par un f^2. Les rangées ainsi obtenues sont traitées à leur tour de la même manière, mais seulement à l'égard des δ qui suivent le dernier produit ff' ou f^2 de chaque rangée. On continue ainsi de suite, jusqu'à ce que la double opération indiquée ne puisse plus être effectuée sur les dernières rangées obtenues. Chaque rangée renferme les quantités dont le produit représente un terme du coefficient D.

δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6
—	f_2^2	o	o	o	o
o	—	f_3^2	o	o	o
o	o	—	f_4^2	o	o
o	o	o	—	f_5^2	o
o	o	o	o	—	f_6^2
—	f_2^2	—	f_4^2	o	o
—	f_2^2	o	—	f_5^2	o
—	f_2^2	o	o	—	f_6^2
o	—	f_3^2	o	f_5^2	o
o	—	f_3^2	o	—	f_6^2
o	o	—	f_4	—	f_6^2
—	f_2^2	—	f_4^2	—	f_6^2

Dans le Tableau ci-dessus, on a mis le signe — à la place des δ supprimés et le signe o à la place des δ conservés.

En supposant tous les δ positifs, le signe de chaque terme est positif ou négatif, suivant que la rangée correspondante renferme un nombre pair ou impair de signes — ou de f^2.

5. *Équation fondamentale.* — Cela posé, en vue des besoins ultérieurs de cette étude, reprenons l'équation primitive des foyers conjugués [II] et mettons-la sous la forme

$$[\text{III}] \qquad A q^n + B q = C + D q q^n,$$

en posant

$$A = f_1 f_1' A', \quad B = f_n f_n' B', \quad C = f_1 f_1' f_n f_n' C',$$

ou, en divisant tous les termes par D,

[III *bis*] $$aq + bq = c + qq^n.$$

Les nouveaux coefficients a, b, c sont aussi des réduites de fractions continues, comme il est facile de le voir.

De là, on tire à volonté

[IV] $$q^n = \frac{Bq - C}{Dq - B} = \frac{bq - c}{q - a}, \quad q^n = b + \frac{ab - c}{q - a}$$

ou

[IV *bis*] $$q = \frac{Aq^n - C}{Dq^n - B} = \frac{aq^n - c}{q^n - b}, \quad q = a + \frac{ab - c}{q^n - b}.$$

II. — Formules primitives des ordonnées conjuguées.

Le rapport entre deux coordonnées conjuguées y et y^n correspondant aux abscisses q et q^n n'est autre chose que le rapport de grandeur entre un objet et son image, c'est-à-dire le *grossissement,* ou mieux le *grandissement,* $G = \frac{y^n}{y}$.

En appelant $y, y', y'', \ldots y^n$ les grandeurs de l'ordonnée première et de ses conjuguées successives par rapport aux différents dioptres qui composent un système quelconque, on a

(8) $$\left\{ \begin{aligned} G &= \frac{y'}{y} \times \frac{y''}{y'} \times \ldots \times \frac{y^{n-1}}{y^{n-2}} \times \frac{y^n}{y^{n-1}} = \frac{y^n}{y} \\ &= g_1 \times g_2 \times \ldots \times g_n. \end{aligned} \right.$$

Par conséquent, le grossissement produit par un système de n dioptres est égal au produit des grossissements partiels dus à chacun des dioptres composants.

En remplaçant ces grossissements partiels par leur valeur, qui a, pour chaque dioptre, une double expression,

$$g = \frac{f}{q} = \frac{q'}{f'},$$

on obtient

(9) $$G = \frac{\mathfrak{P}(f)}{\mathfrak{P}(q)} = \frac{\mathfrak{P}(q')}{\mathfrak{P}(f')},$$

avec

$$\mathfrak{P}(f) = f_1 f_2 f_3 \ldots f_n,$$
$$\mathfrak{P}(f') = f'_1 f'_2 f'_3 \ldots f'_n,$$
$$\mathfrak{P}(q) = q_{,} q_{,,} q_{,,,} \ldots q_n,$$
$$\mathfrak{P}(q') = q' q'' q''' \ldots q^n.$$

Éliminons toutes les abscisses intermédiaires, $q_{,}$, $q_{,,}$, ..., q_n d'une part, et q', q'', ..., q^{n-1} de l'autre, au moyen des relations (1) et (2) qui ont servi à opérer cette même élimination à l'égard de l'équation des abscisses; il en résulte pour $\mathfrak{P}(q)$ une expression identique au dénominateur de la réduite qui représente la valeur de q^n, et pour $\mathfrak{P}(q')$ le dénominateur de la réduite qui donne q.

On trouve finalement

$$\mathfrak{P}(q) = \mathrm{D}q - \mathrm{A} \quad \text{et} \quad \mathfrak{P}(q') = \mathrm{D}q^n - \mathrm{B}$$

et, par suite,

$$[\mathrm{V}] \qquad \mathrm{G} = \frac{\mathfrak{P}(f)}{\mathrm{D}q - \mathrm{A}} = \frac{\mathrm{D}q^n - \mathrm{B}}{\mathfrak{P}(f')}.$$

On aurait aussi pu déduire directement les valeurs des produits $\mathfrak{P}(q)$ et $\mathfrak{P}(q')$ de l'équation générale des abscisses, et l'on serait arrivé aux mêmes résultats.

Les expressions de G devront être affectées du signe + ou —, suivant que les produits $\mathfrak{P}(f)$ et $\mathfrak{P}(f')$ comprendront un nombre pair ou impair de longueurs focales négatives (lentilles et dioptres simples convergents).

Le signe + indique que les ordonnées conjuguées sont *homothétiques,* c'est-à-dire situées du même côté de l'axe optique (image *droite*); le signe — indique que les ordonnées conjuguées sont *antithétiques*, situées l'une au-dessus, l'autre au-dessous de l'axe optique (image *renversée*).

En égalant entre elles les deux valeurs de G, on a

$$(10) \qquad (\mathrm{D}q - \mathrm{A})(\mathrm{D}q^n - \mathrm{B}) = \mathfrak{P}(f) \times \mathfrak{P}(f'),$$

ou, en divisant les deux membres par D^2,

$$(11) \qquad (q - a)(q^n - b) = \frac{\mathfrak{P}(f)}{\mathrm{D}} \times \frac{\mathfrak{P}(f')}{\mathrm{D}},$$

équations nécessairement identiques à [III] et [III *bis*].

Si l'on multiplie membre à membre les deux valeurs de G, on obtient

$$G^2 = \frac{Dq^n - B}{Dq - A} \times \frac{\mathfrak{P}(f)}{\mathfrak{P}(f')}. \tag{12}$$

Or on verra, dans le § III, que $\frac{\mathfrak{P}(f)}{\mathfrak{P}(f')} = \frac{m_0}{m_n}$, m_0 et m_n désignant les indices de réfraction des milieux extrêmes.

On peut donc encore arriver à cette autre expression

$$G = \sqrt{\frac{q^n - b}{q - a} \times \frac{m_0}{m_n}}. \tag{VI}$$

III. — Relations entre les coefficients de l'équation fondamentale et les abscisses des points cardinaux du système.

Parmi les dix couples de points *dioptriques,* dont nous parlerons plus loin, il en est deux d'une importance majeure : ce sont les quatre points *cardinaux,* dont la connaissance suffit pour déterminer un système, si compliqué qu'il soit, et pour lui en substituer un équivalent réduit à l'ensemble de ces quatre points. Nous allons trouver, entre les coefficients A, B, D de l'équation fondamentale des foyers conjugués et les abscisses des points cardinaux, des relations qui nous permettront d'écrire immédiatement les valeurs de ces distances.

1° *Abscisses primitives des points focaux,* q_φ, q'_φ. — Les points focaux ou foyers principaux du système étant, le premier le point de concours des rayons incidents qui deviennent, à l'émergence, parallèles à l'axe optique, le second le point de concours des rayons émergents qui proviennent de rayons incidents parallèles à l'axe optique, si l'on fait, dans les équations [III] ou [IV], successivement $q^n = \infty$ et $q = \infty$, après avoir divisé tous les termes par la variable qu'on égale à l'infini, on obtiendra les abscisses des deux points focaux, savoir

$$q_\varphi = \frac{A}{D} = a \quad \text{et} \quad q'_\varphi = \frac{B}{D} = b. \tag{13}$$

2° *Abscisses primitives des points principaux* h, h'. — Les points principaux étant deux foyers conjugués, caractérisés par l'égalité et l'homothétisme des ordonnées correspondantes, les abscisses de ces points seront données par les expressions (V) du

grossissement, égalées chacune à $+1$. On trouve ainsi

$$(14)\qquad \begin{cases} h = \dfrac{A + \mathfrak{P}(f)}{D} = a + \dfrac{\mathfrak{P}(f)}{D}, \\ h' = \dfrac{B + \mathfrak{P}(f')}{D} = b + \dfrac{\mathfrak{P}(f')}{D}. \end{cases}$$

ou encore, en anticipant sur les relations qui suivent,

$$(15)\qquad h = q_\varphi + \varphi \quad \text{et} \quad h' = q'_\varphi + \varphi'.$$

3° *Longueurs focales du système* φ, φ'. — On sait que la distance comprise entre un point focal et le point principal correspondant s'appelle *longueur focale;* elle serait mieux nommée longueur *principale,* car c'est l'abscisse d'un point principal.

Chacune des longueurs focales du système est évidemment égale à la différence entre l'abscisse d'un point principal et celle du point focal homologue. On a donc

$$(16)\qquad \begin{cases} \varphi = h - q_\varphi = \dfrac{\mathfrak{P}(f)}{D}, \\ \varphi' = h' - q'_\varphi = \dfrac{\mathfrak{P}(f')}{D}. \end{cases}$$

On peut ainsi calculer directement les longueurs focales d'un système, sans en connaître les points cardinaux. Il faut avoir soin seulement de regarder comme *négatives* les longueurs focales des dioptres simples *convergents* et des lentilles *convergentes,* afin de donner aux produits $\mathfrak{P}(f)$ et $\mathfrak{P}(f')$ les signes qui leur conviennent.

On remarquera que les longueurs focales φ et φ' d'un système dioptrique sont toujours toutes deux de même signe, attendu que les numérateurs $\mathfrak{P}(f)$ et $\mathfrak{P}(f')$ sont composés de quantités de même signe et en même nombre.

Le rapport entre les deux longueurs focales d'un système a pour valeur

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{\mathfrak{P}(f')}{\mathfrak{P}(f)} = \frac{f'_1 f'_2 \ldots f'_n}{f_1 f_2 \ldots f_n}$$

ou, en remplaçant les rapports $\dfrac{f'_1}{f_1}, \dfrac{f'_2}{f_2}, \ldots, \dfrac{f'_n}{f_n}$ par leurs égaux $\dfrac{m_1}{m_0}, \dfrac{m_2}{m_1}, \ldots, \dfrac{m_n}{m_{n-1}}$,

$$(17)\qquad \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{m_1 m_2 \ldots m_{n-1} m_n}{m_0 m_1 \ldots m_{n-1}} = \frac{m_n}{m_0},$$

ce qui démontre que, dans tout système dioptrique, *le rapport des longueurs focales est égal à celui des indices de réfraction*, m_0, m_n *des milieux extrêmes.*

Et quand

$$m_n = m_0,$$

il s'ensuit

$$\varphi' = \varphi.$$

De là, la division des systèmes *à pouvoir dioptrique* en systèmes *équifocaux*, qui ont leurs deux longueurs focales égales, par suite de l'égalité de réfringence des milieux extrêmes (lentilles ordinaires et la plupart des instruments d'optique) et en systèmes *inéquifocaux*, dans lesquels l'inégalité de réfringence des milieux extrêmes entraîne l'inégalité des longueurs focales (lentilles à immersion, système dioptrique de l'œil).

Quand on connaît les longueurs focales de deux systèmes consécutifs de $(n-1)$ et n dioptres, on peut calculer celles du système suivant de $(n+1)$ dioptres, au moyen des formules

$$(18) \qquad \varphi_{n+1} = \frac{f_{n+1}\,\varphi_n\,\varphi_{n-1}}{\delta_n\,\varphi_{n-1} - f'_n\,\varphi_n} \quad \text{et} \quad \varphi'_{n+1} = \frac{f'_{n+1}\,\varphi'_n\,\varphi'_{n-1}}{\delta_n\,\varphi'_{n-1} - f_n\,\varphi'_n}.$$

Notons, en passant, la relation

$$(19) \qquad c = ab - \varphi\varphi',$$

qu'on démontre, en s'appuyant sur les propriétés des deux réduites consécutives d'une fraction continue, ou par la comparaison des équations [III *bis*] et (11).

4° *Pouvoirs dioptriques du système*, Φ, Φ'. — J'ai donné le nom de *pouvoir dioptrique* à l'inverse de la longueur focale, quantité qui sert de mesure à la puissance d'un système dioptrique et qui représente la *parallaxe* du point focal, ou encore l'angle que font entre eux le rayon lumineux mené parallèlement à l'axe optique, à la distance de l'unité de longueur, et le rayon conjugué passant par le point focal. La considération du pouvoir dioptrique a acquis une importance nouvelle depuis l'adoption de la *dioptrie*, unité de mesure que j'ai définie, le pouvoir dioptrique d'une lentille ayant une longueur focale d'*un* mètre.

En prenant les inverses des longueurs focales, on a donc les

pouvoirs dioptriques

$$(20) \qquad \Phi = \frac{1}{\varphi} = D \times \mathfrak{P}(F) \quad \text{et} \quad \Phi' = \frac{1}{\varphi'} = D \times \mathfrak{P}(F'),$$

$\mathfrak{P}(F)$ et $\mathfrak{P}(F')$ représentant les produits des premiers et des seconds pouvoirs dioptriques composants.

Afin qu'on puisse apprécier la simplicité relative de nos formules, nous donnons ici les expressions du second pouvoir dioptrique pour les quatre premiers systèmes composés :

$$\Phi'_2 = \delta F'_1 F'_2,$$
$$\Phi'_3 = (\delta_1\delta_2 - f_2 f'_2) F'_1 F'_2 F'_3,$$
$$\Phi'_4 = [\delta_3(\delta_2\delta_1 - f_2 f'_2) - f_3 f'_3 \delta_1] F'_1 F'_2 F'_3 F'_4,$$
$$\Phi'_5 = \{\delta_4[\delta_3(\delta_2\delta_1 - f_2 f'_2) - f_3 f'_3 \delta_1] - f_4 f'_4(\delta_1\delta_2 - f_2 f'_2)\} F'_1 F'_2 F'_3 F'_4 F'_5,$$
$$= [(\delta_1\delta_2 - f_2 f'_2)(\delta_3\delta_4 - f_4 f'_4) - \delta_1\delta_4 f_3 f'_3] F'_1 F'_2 \ldots F'_5.$$

Pour obtenir le premier pouvoir dioptrique Φ, il suffit de remplacer $\mathfrak{P}(F')$ par $\mathfrak{P}(F)$, ou de multiplier Φ' par le rapport $\frac{m_n}{m_0}$ des indices de réfraction des milieux extrêmes, car on a évidemment

$$\frac{\Phi}{\Phi'} = \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{m_n}{m_0}.$$

Enfin on a aussi

$$(21) \qquad \begin{cases} \Phi_{n+1} = F_{n+1}\left(\delta_n \Phi_n - \dfrac{\Phi_{n-1}}{F'_n}\right), \\ \Phi'_{n+1} = F'_{n+1}\left(\delta_n \Phi'_n - \dfrac{\Phi'_{n-1}}{F_n}\right). \end{cases}$$

IV. — Relations des coefficients de l'équation fondamentale avec d'autres points dioptriques.

En introduisant dans les équations [III] ou [V] les conditions caractéristiques des autres points dioptriques du système, on en déduirait les abscisses primitives et, par suite, la position de ces points, comme nous venons de le faire pour les points cardinaux. Mais, en raison de la simplicité des relations qui existent entre les longueurs focales φ, φ' du système et les abscisses *réduites* de la plupart de ces points, il est plus avantageux de les déterminer au moyen des équations *irréductibles*, dont il sera question dans le paragraphe suivant.

Toutefois, nous devons faire une exception en faveur de deux couples de points, les seuls qui subsistent toujours dans une classe de systèmes d'où sont exclus les points focaux et ceux qui en dépendent; je veux parler des points *cofocaux* et *oculaires*.

Les points *cofocaux* (¹) sont les conjugués respectifs du second point focal du dernier dioptre, et du premier point focal du premier dioptre, c'est-à-dire des origines des abscisses primitives, ou de

$$q^n = 0 \quad \text{et} \quad q = 0;$$

d'où résulte qu'ils ont pour valeurs

$$(22) \qquad q_0 = \frac{C}{B} \quad \text{et} \quad q'_0 = \frac{C}{A}.$$

Chacun des points cofocaux n'est après tout que le point focal de même ordre du système restant après la suppression du dioptre terminal auquel appartient le point focal conjugué du point cofocal considéré. De même que q_φ et q'_φ, les abscisses cofocales q_0 et q'_0 sont aussi des réduites de fractions continues.

Les points *oculaires*, au nombre de deux, en général, bien qu'on n'ait jamais parlé que d'un seul, sont les conjugués respectifs des dioptres extrêmes eux-mêmes, c'est-à-dire de

$$q^n = -f_n \quad \text{et} \quad q = -f_1$$

et, par suite, ils ont pour abscisses primitives

$$(23) \qquad \left\{ \begin{array}{l} o = \dfrac{Af'_n + C}{Df'_n + B} = a - \dfrac{\varphi\varphi'}{b + f'_n} \\ \text{et} \\ o' = \dfrac{Bf_1 + C}{Df_1 + A} = b - \dfrac{\varphi\varphi'}{a + f_1}. \end{array} \right.$$

V. — Transformation des équations primitives.

Dans l'équation primitive [III] ou [III *bis*], on peut faire évanouir à volonté soit le terme indépendant C ou c, soit les termes

---

(¹) Ne pas confondre ces points *cofocaux* avec le point *confocal* de Bravais, qui n'est autre chose qu'un de ceux auxquels j'ai donné le nom de points *symptosiques* et que Listing a appelés *symptotiques*.

du premier degré en q et q^n, par un simple changement d'origines des abscisses.

1. *Formules réduites ou irréductibles.* — En prenant pour origines des abscisses *réduites* χ, χ' de deux foyers conjugués, non plus les points focaux des dioptres extrêmes, mais les points focaux du système, ce qui revient à poser

$$\chi = q - a \quad \text{et} \quad \chi' = q^n - b,$$

on transforme les équations primitives [III *bis*] et [V] en équations *simplifiées* ou *irréductibles,* savoir :

Formule des abscisses :

[VII] $$\chi\chi' = \varphi\varphi';$$

Formules des ordonnées :

[VIII] $$G = \frac{\varphi}{\chi} = \frac{\chi'}{\varphi'}.$$

De cette dernière, on tire encore

[IX] $$G = \frac{\varphi + \chi'}{\varphi' + \chi} = \frac{x'_N}{x_N},$$

$(\varphi + \chi')$ étant la distance x'_N de l'image au second point nodal et $(\varphi' + \chi)$ la distance x_N de l'objet au premier point nodal.

On a aussi

[X] $$G = \sqrt{\frac{\chi'}{\chi} \times \frac{m_0}{m_n}}.$$

Ces expressions sont identiques aux formules des dioptres simples et conduisent aux mêmes conclusions.

Quand le système est équifocal, $\varphi' = \varphi$, ces formules deviennent

[XI] $$\chi\chi' = \varphi^2,$$

[XII] $$G = \frac{\varphi}{\chi} = \frac{\chi'}{\varphi},$$

[XIII] $$G = \frac{\varphi + \chi'}{\varphi + \chi} = \frac{x'}{x},$$

et

[XIV] $$G = \sqrt{\frac{\chi'}{\chi}}.$$

On a parfois besoin de connaître l'épaisseur d'une image, ou le

chemin qu'elle parcourt quand on déplace l'objet correspondant, ou, en général, l'intervalle e' de deux points respectivement conjugués de deux autres qui sont séparés l'un de l'autre par l'intervalle e et qui ont pour abscisses χ_1 et χ_2. On emploiera alors avec avantage la *formule des épaisseurs*

$$[\text{XV}] \qquad \frac{e'}{e} = \frac{\varphi\varphi'}{\chi_1\chi_2} = \frac{\chi'_1\chi'_2}{\varphi\varphi'} = \frac{m_n}{m_0} G_1 G_2,$$

qui, pour les systèmes équifocaux, devient

$$[\text{XVI}] \qquad \frac{e'}{e} = \frac{\varphi^2}{\chi_1\chi_2} = \frac{\chi'_1\chi'_2}{\varphi^2} = G_1 G_2.$$

La démonstration de cette formule est des plus faciles à trouver.

Il importe de remarquer que les abscisses réduites χ, χ' de deux foyers conjugués sont toujours de même signe, attendu qu'il en est de même des longueurs focales φ, φ' d'un système dioptrique et que, par suite, le produit $\varphi\varphi'$ est nécessairement positif.

Si l'on considère une série de couples de points conjugués ayant pour abscisses réduites (χ_1, χ'_1), (χ_2, χ'_2), ..., on aura évidemment

$$\chi_1\chi'_1 = \chi_2\chi'_2 = \chi_3\chi'_3 = \ldots = \varphi\varphi'.$$

Donc, *dans tout système dioptrique qui possède des foyers principaux, le produit de deux abscisses conjuguées est une quantité constante,* et on peut remplacer les deux longueurs focales par les abscisses réduites de deux points conjugués quelconques, notamment par celles des points équidistants, qui sont égales toutes deux à φ_e, ce qui donne

$$\chi\chi' = \varphi_e^2.$$

2. *Formules transformées.* — Pour faire évanouir seulement le terme indépendant c, il faut prendre pour origines des nouvelles abscisses x, x' deux points conjugués quelconques. On choisit habituellement les points principaux et l'on a alors, pour *formule transformée des abscisses,*

$$[\text{XVII}] \qquad \frac{\varphi}{x} + \frac{\varphi'}{x'} = 1,$$

qui, dans le cas où $\varphi' = \varphi$, peut se mettre sous la forme classique

de la formule des lentilles

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{\varphi},$$

ou, en remplaçant ces fractions par leurs équivalents en *dioptries,*

[XVIII] $$X + X' = \Phi.$$

Si l'on prenait pour origines des abscisses x_e, x'_e les points équidistants (*voir* § VI), les *longueurs équidistantes* (distances d'un point équidistant au point focal homologue) seraient égales entre elles ($\varphi_e = \sqrt{\varphi\varphi'}$) et l'on aurait pour les systèmes inéquifocaux une formule *transformée* absolument semblable à celle des systèmes équifocaux, savoir

[XIX] $$\frac{1}{x_e} + \frac{1}{x'_e} = \frac{1}{\varphi_e},$$

qu'on pourrait alors aussi remplacer par une formule en *dioptries :*

[XX] $$X_e + X'_e = \Phi_e.$$

On sait que, dans les systèmes équifocaux, les points équidistants se confondent avec les points principaux.

VI. — Points dioptriques.

Nous avons englobé sous la dénomination commune de *points dioptriques* tous les couples de points, qu'on obtient en donnant, soit à χ, soit à χ', dans l'équation $\chi\chi' = \varphi\varphi'$, des valeurs particulières, en relation simple, les unes avec les longueurs focales φ, φ', les autres avec les abscisses primitives des points focaux du système q_φ, q'_φ, ou les longueurs focales f_1, f'_n des dioptres extrêmes, les points ainsi déterminés présentant tous quelque propriété intéressante et utile. Aux points antérieurement indiqués par Biot, Gauss, Bravais, Mœbius, Listing et Tœpler, j'ai ajouté les points *équidistants* et *anti-équidistants,* d'une part, et les points *cofocaux,* de l'autre, ce qui porte à 10 le nombre total des couples.

Les points *équidistants* sont deux points mutuellement conjugués, situés chacun à la même distance du point focal homologue et dont les ordonnées correspondantes sont *homothétiques.*

En d'autres termes, ces points sont caractérisés par la condition

$$\chi_e = \chi'_e;$$

d'où résulte que leurs abscisses réduites sont toutes deux égales à $\sqrt{\varphi\varphi'}$, avec $G = + \frac{\varphi}{\chi_e} = + \sqrt{\frac{\varphi}{\varphi'}}$.

On voit que l'abscisse de chacun de ces points est moyenne proportionnelle entre les abscisses φ et φ' des points principal et nodal et que la valeur du grossissement correspondant est aussi moyenne proportionnelle entre les grossissements 1 des ordonnées principales et $\frac{\varphi}{\varphi'}$ des ordonnées nodales.

Indépendamment de l'utilité que peut offrir l'emploi des points équidistants, comme origines d'abscisses, pour donner à l'équation transformée des foyers conjugués la même forme dans les systèmes inéquifocaux que dans les systèmes équifocaux (*voir* § V, 2), ces points possèdent encore d'autres propriétés intéressantes : leur distance mutuelle ou *espace équidistant* représente un *minimum* ou un *maximum* d'écartement des foyers conjugués suivant que leurs abscisses sont positives ou négatives (*voir* § VII).

Les points *anti-équidistants* ne diffèrent des équidistants que par le signe de leurs abscisses et du grossissement correspondant: en conséquence, chacun d'eux est, par rapport au point focal de même ordre, le symétrique du point équidistant et les ordonnées anti-équidistantes sont antithétiques.

L'espace *anti-équidistant* représente un *maximum* ou un *minimum* d'écartement des foyers conjugués, suivant que l'espace *équidistant* correspond à un *minimum* ou à un *maximum*.

Nous donnons, dans le tableau ci-dessous, la liste des points dioptriques, avec leurs abscisses *réduites* et le grossissement correspondant. Le signe + ou —, placé devant les abscisses, n'a qu'une valeur relative, indiquant seulement s'il faut conserver (+) ou changer (—) le signe propre de la quantité considérée.

Le signe du grossissement, au contraire, a une valeur absolue : + indique l'*homothétisme* des ordonnées, et — l'*antithétisme*.

		χ.	χ'.	G.
Points cardinaux.	Points focaux	1°... 0 ∞	∞ 2°..... 0	∞ 0
Points — homothétiques.	Points principaux...	$+\varphi$	$+\varphi'$	$+1$
	Points nodaux.....	$+\varphi'$	$+\varphi$	$+\frac{\varphi}{\varphi'}$
	Points équidistants..	$+\sqrt{\varphi\varphi'}$	$+\sqrt{\varphi\varphi'}$	$+\sqrt{\frac{\varphi}{\varphi'}}$
Points — antithétiques.	P. anti-principaux..	$-\varphi$	$-\varphi'$	-1
	P. anti-nodaux.....	$-\varphi'$	$-\varphi$	$-\frac{\varphi}{\varphi'}$
	P. anti-équidistants.	$-\sqrt{\varphi\varphi'}$	$-\sqrt{\varphi\varphi'}$	$-\sqrt{\frac{\varphi}{\varphi'}}$
Points symptosiques.	1°... $\sigma_1 = -(i-\sqrt{i^2-\varphi\varphi'})$		$\sigma'_1 = -(i+\sqrt{i^2-\varphi\varphi'})$	$\pm\frac{\varphi}{\sigma_1}$
	2°... $\sigma_2 = -(i+\sqrt{i^2-\varphi\varphi'})$		$\sigma'_2 = -(i-\sqrt{i^2-\varphi\varphi'})$	$\pm\frac{\varphi}{\sigma^2}$
Points oculaires	1°..... $\omega = \frac{\varphi\varphi'}{f'_n - q'_\varphi}$		$f'_n - q'_\varphi$	$\pm\frac{fn' - q'_\varphi}{\varphi'}$
	..... $f_1 - q_\varphi$		2°..... $\omega' = \frac{\varphi\varphi'}{f_1 - q_\varphi}$	$\pm\frac{\varphi}{f_1 - q_\varphi}$
Points cofocaux	1°..... $\chi_\varphi = -\frac{\varphi\varphi'}{q'_\varphi}$		$-q'_\varphi$	$\pm\frac{q'_\varphi}{\varphi'}$
	..... $-q_\varphi$		2°..... $\chi'_\varphi = -\frac{\varphi\varphi'}{q_\varphi}$	$\pm\frac{\varphi}{q_\varphi}$

De ces dix couples de points, il n'en est que six qui aient chacun leurs deux points mutuellement conjugués ; ce sont ceux qui forment les deux groupes à ordonnées *homothétiques* et *antithétiques*. Nous avons donné les définitions et les propriétés caractéristiques des points équidistants et anti-équidistants. Les autres points à conjugaison mutuelle sont connus. Nous ajouterons seulement que les points antithétiques sont surtout utiles dans les constructions graphiques, comme succédanés des points homothétiques, lorsque ces derniers sortent seuls des limites de l'épure.

Dans les systèmes équifocaux, par suite de $\varphi' = \varphi$, les deux

groupes homothétiques et antithétiques se réduisent chacun à un seul couple qui cumule les propriétés caractéristiques des trois couples dont les points de même ordre se sont fusionnés : équidistance des points conjugués, égalité des ordonnées correspondantes et des angles que font avec l'axe optique deux rayons conjugués passant chacun d'eux par un de ces points (*parallélisme* ou *antiparallélisme* des axes secondaires). Ici se présente une question qui n'est pas dénuée d'intérêt, puisqu'elle a reçu des solutions différentes : de quel nom désigner ces points qui sont à la fois principaux, nodaux et équidistants? Pour Gauss, ce ne pouvaient être que des points principaux, les seuls du groupe qui fussent connus du savant astronome; mais, depuis le travail de Listing, ces mêmes points à fonctions multiples ont été assimilés par quelques auteurs aux points nodaux. Or c'est, nous semble-t-il, la qualification à laquelle ils ont le moins de droits.

Si l'on considère les grossissements relatifs aux trois couples homothétiques, celui des ordonnées principales, $+1$, est le seul qui ne change pas de valeur, lorsque φ et φ' deviennent égaux entre eux. L'équifocalisation d'un système laisse donc intacte la propriété caractéristique des points principaux, et, qu'elle les déplace tous les deux ou n'en déplace qu'un seul, elle leur communique, en outre, les propriétés spéciales aux points nodaux et aux équidistants. Elle opère de la même manière à l'égard du groupe antithétique, en sorte que le nombre total des couples se trouve réduit à six dans les systèmes équifocaux.

Dans tous les systèmes dioptriques, quels qu'ils soient, quand l'objet considéré vient à changer de position, l'image correspondante se déplace dans le même sens, mais avec une vitesse différente, sauf le cas tout à fait exceptionnel du système afocal à coefficients égaux (§ IX); dans les systèmes pourvus de foyers principaux, le rapport $\frac{\chi'}{\chi}$ des chemins parcourus par deux foyers conjugués, rapport égal à celui de leurs vitesses de déplacement, varie en raison inverse du carré du chemin parcouru par l'objet.

De là, la possibilité d'une rencontre ou *symptose* de l'objet avec sa propre image ; j'appelle point *symptosique* le point où a lieu cette superposition de deux foyers mutuellement conjugués.

Chaque point symptosique, représentant deux points conjugués

l'un de l'autre, a nécessairement deux abscisses comptées, la première σ, à partir du premier point focal; la seconde σ', à partir du second point focal, de telle sorte qu'on ait toujours

$$\sigma\sigma' = \varphi\varphi'.$$

Si l'on désigne par $2i$ l'*intervalle focal* du système (distance comprise entre les deux points focaux), pour qu'il y ait symptose, il faut évidemment, comme on le dira (§ VII), que

$$\sigma + \sigma' = 2i; \tag{24}$$

d'où l'on tire, en remplaçant σ' par sa valeur $\frac{\varphi\varphi'}{\sigma}$ et en résolvant l'équation du second degré qui en résulte,

$$\sigma = -(i \mp \sqrt{i^2 - \varphi\varphi'}). \tag{25}$$

Donc il y a, en général, deux points symptosiques, ayant pour abscisses

$$\left\{\begin{array}{l} \sigma_1 = -(i - \sqrt{i^2 - \varphi\varphi'}) \quad \text{et} \quad \sigma'_1 = -(i + \sqrt{i^2 - \varphi\varphi'}), \\ \sigma_2 = -(i + \sqrt{i^2 - \varphi\varphi'}) \quad \text{et} \quad \sigma'_2 = -(i - \sqrt{i^2 - \varphi\varphi'}). \end{array}\right. \tag{26}$$

Il est facile de voir que le nombre des points symptosiques est

$$\left.\begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 2 \end{array}\right\} \text{ suivant qu'on a } i \left\{\begin{array}{c} < \\ = \\ > \end{array}\right| \sqrt{\varphi\varphi'}.$$

On verrait encore que, dans les systèmes où il y a deux points symptosiques, ces points sont toujours situés dans l'intervalle focal, chacun d'eux à la même distance du point focal correspondant, mais en dehors de l'espace équidistant, homothétique ou antithétique, qui se trouve compris dans l'intervalle focal. Lorsqu'il n'y a qu'une seule symptose, elle porte sur les points équidistants (ou anti-équidistants) et le point symptosique occupe le milieu de l'intervalle focal.

La symétrie de position des points symptosiques résulte des relations

$$\sigma_1 = \sigma'_2,$$
$$\sigma_2 = \sigma'_1,$$

qui permettent de poser

$$\sigma_1\sigma_2 = \sigma'_1\sigma'_2 = \sigma_1\sigma'_1 = \sigma_2\sigma'_2 = \varphi\varphi'.$$

L'existence de tous les points dioptriques, à l'exception des sympto-

siques, des *oculaires* et des *cofocaux,* est liée à celle des points focaux : quand ces derniers viennent à manquer dans un système, on n'y trouve plus ni les points homothétiques ni les antithétiques. En revanche, les points oculaires et cofocaux ne font jamais défaut en pareille occurrence, et c'est là ce qui donne surtout aux derniers une importance réelle, dont nous tirerons parti dans l'étude des systèmes *afocaux.*

VII. — Espaces et intervalles dioptriques.

Pour compléter cette étude des systèmes dioptriques et pour établir les bases d'une classification rationnelle, il convient encore de déterminer les distances mutuelles des foyers conjugués et celles des points dioptriques.

Afin d'abréger le langage, sans le rendre confus, nous avons adopté, pour désigner la distance de deux points, des dénominations différentes suivant la nature des points considérés. Le terme d'*abscisse* représentant la distance d'un point quelconque au point pris comme origine correspondante, nous avons conservé le nom de *longueurs* aux abscisses réduites des points dioptriques; nous avons ainsi des longueurs *principales* (expression préférable à celle de *longueurs focales principales,* habituellement employée), et de même des *longueurs nodales, équidistantes, symptosiques,* etc. J'emploie le mot *espace* pour désigner la distance mutuelle de deux points conjugués : *espace conjugué, principal, nodal,* etc.

S'il s'agit de deux points dioptriques, non conjugués, mais de même espèce, leur distance mutuelle s'appellera un *intervalle :* tels sont l'*intervalle focal* (portion de l'axe optique comprise entre les deux points focaux du système), l'*intervalle symptosique* (distance mutuelle des deux points symptosiques), etc.

Dans tous les autres cas, je me servirai du terme général de distance.

Intervalle focal. — En désignant cet intervalle par $2i$ et la distance mutuelle des points focaux extrêmes qui servent d'origines aux abscisses primitives par Δ, on a évidemment

$$(27) \qquad 2i = \Delta + q_\varphi + q'_\varphi = \Delta + \frac{A + B}{D},$$

expression qui peut être positive, nulle ou négative, suivant les signes et les valeurs relatives de Δ et des quantités q_φ, q'_φ ou des trois coefficients A, B, D de l'équation fondamentale.

Espace conjugué. — Rapporté aux abscisses primitives, l'espace conjugué E a pour expression

$$E = \Delta + q + q^n$$

ou, en remplaçant q^n par sa valeur,

$$(28) \quad \begin{cases} E = \Delta + q + \dfrac{Bq - C}{Dq - A} \\ \quad = \Delta + q + b - \dfrac{\varphi\varphi'}{q - a}. \end{cases}$$

En le rapportant aux abscisses réduites, on a

$$(29) \quad \begin{cases} E = 2i + \chi + \chi' \\ \quad = 2i + \chi + \dfrac{\varphi\varphi'}{\chi}. \end{cases}$$

Des déductions à tirer de la discussion de cette équation, qui représente aussi une hyperbole, nous n'en voulons indiquer que deux, les plus intéressantes, se rapportant l'une à l'écartement maximum ou minimum des foyers conjugués, l'autre à leur symptose.

En égalant à zéro la dérivée du second membre de l'équation de l'espace conjugué, on obtient

$$1 - \frac{\varphi\varphi'}{\chi^2} = 0,$$

d'où

$$\chi = \pm\sqrt{\varphi\varphi'}.$$

Nous retrouvons ainsi l'abscisse des points équidistants, positifs ou négatifs, comme répondant à un maximum ou à un minimum de l'espace conjugué. Ce dernier devient alors

$$(30) \quad E = 2(i \pm \sqrt{\varphi\varphi'}).$$

La discussion de cette expression montrerait qu'elle représente un maximum pour les points équidistants situés dans l'intervalle focal, entre les deux points symptosiques, et un minimum

pour les points équidistants qui ont le même signe que i et qui, par suite, sont situés en dehors de l'intervalle focal.

Pour déterminer les points symptosiques, il suffit d'égaler à zéro le second membre de l'équation de l'espace conjugué, comme nous l'avons fait dans le paragraphe précédent.

On trouve ainsi que l'espace conjugué passe deux fois par la valeur zéro, en changeant chaque fois de signe.

Espaces dioptriques. — Si, dans l'équation de l'espace conjugué, on donne successivement à χ les différentes valeurs des abscisses des points dioptriques, on obtiendra évidemment les espaces relatifs à ces points.

On trouvera ainsi pour l'espace *principal* et pour l'espace *nodal* la même expression

$$\mathcal{E} = 2i + \varphi + \varphi', \tag{31}$$

qui peut être positive ou négative, suivant les signes et les valeurs relatives de i et de la somme $(\varphi + \varphi')$.

On trouverait de même pour l'espace équidistant l'expression donnée plus haut comme répondant à un écartement maximum ou minimum des foyers conjugués.

VIII. — Classification des systèmes dioptriques à foyers principaux.

Les quatre points cardinaux, auxquels se ramène tout système dioptrique pourvu de foyers principaux, peuvent occuper, les uns par rapport aux autres, un grand nombre de positions diverses, et donner lieu ainsi à autant de dispositifs différents. Cependant, grâce à cette circonstance que les deux longueurs focales d'un système sont toujours de même signe, le nombre des permutations des quatre points en question se trouve réduit de moitié et ne s'élève qu'à douze : de là, douze dispositifs à dénommer.

C'est à quoi je parviens en tenant compte à la fois du signe et de la valeur relative des longueurs focales, de l'intervalle focal et de l'espace principal. Je dis qu'un système est *homonyme* ou *croisé,* suivant que son intervalle focal est positif ou négatif, qu'il est *exotère* (de ἐξωτερός, extérieur) ou *endotère* (de ἐνδοτερός intérieur), suivant que ses points principaux sont en dehors ou en dedans de l'intervalle focal. Si l'espace principal est de signe con-

traire à celui de l'intervalle focal, on indique cette circonstance par le préfixe *mi* placé devant les qualificatifs homonyme ou croisé. De même, si le premier point principal seul est à l'intérieur ou à l'extérieur de l'intervalle focal, on dit le système *mi-endotère* ou *mi-exotère*.

Le tableau suivant renferme les douze dispositifs classés conformément aux indications précédentes et représentés chacun par une notation qui s'explique d'elle-même, quand on sait que Φ, Φ' désignent les points focaux et H, H′ les points principaux :

Systèmes homonymes.				Systèmes croisés.		
Mi-hom.	1.	$H\Phi\Phi'H'$	Exotères	1′.	$H'\Phi'\Phi H$	Mi-croisé
	2.	$H'\Phi\Phi'H$		2′.	$H\Phi'\Phi H'$	
	3.	$\Phi H'\Phi'H$	Mi-exotères	3′.	$H\Phi'H'\Phi$	
Mi-hom.	1.	$\Phi HH'\Phi'$	Endotères	1′.	$\Phi'H'H\Phi$	Mi-croisé
	2.	$\Phi H'H\Phi'$		2′.	$\Phi'HH'\Phi$	
	3.	$H'\Phi H\Phi'$	Mi-endotères	3′.	$\Phi'H\Phi H'$	

Les six systèmes homonymes fournissent, par renversement de l'ordre de leurs points cardinaux, les six systèmes croisés. Les systèmes homonymes ont tous, à l'exception du premier, leurs longueurs focales négatives; inversement, les systèmes croisés ont tous, à l'exception du premier, leurs longueurs focales positives.

IX. — Équation fondamentale incomplète. — Systèmes afocaux.

Reprenons l'équation fondamentale des abscisses primitives :

$$Aq^n + Bq = C + Dqq^n.$$

Jusqu'ici nous avons implicitement supposé que nous avions affaire à des systèmes dont l'équation fondamentale était complète. Or cette équation peut être privée d'un et même de deux quelconques de ses termes, sans cesser de représenter les foyers conjugués d'un système dioptrique; mais il en résulte alors pour la position des points dioptriques des changements plus ou moins considérables, de nature, dans certains cas, à altérer profondément la physionomie et les propriétés du système considéré.

Nous ne nous arrêterons pas aux systèmes dans lesquels les coefficients A et B sont, l'un ou l'autre, tous deux nuls. L'an-

nulation de ces coefficients n'entraîne d'autre conséquence que de rendre aussi *nulles* les abscisses des points focaux q_φ, q'_φ et *infinies* celles des points cofocaux q_0, q'_0, par conséquent de faire coïncider les points focaux du système avec les points focaux des dioptres extrêmes qui servent d'origines des abscisses et de reculer à l'infini les points cofocaux, c'est-à-dire de les supprimer.

Un cas plus intéressant est celui où $C = 0$, condition toujours réalisée dans le système binaire et, en général, dans les systèmes *pairs*, qui ont leurs δ pairs tous nuls.

On a alors

$$q_0 = q'_0 = 0,$$

c'est-à-dire que les points cofocaux se confondent chacun avec l'origine respective des abscisses et, par conséquent, les points focaux extrêmes des dioptres composants sont mutuellement conjugués.

L'équation des abscisses primitives se réduit à

$$\text{[XXI]} \qquad Aq^n + Bq = Dqq^n,$$

qu'on peut mettre sous la forme

$$\text{[XXII]} \qquad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{a}{q} + \dfrac{b}{q^n} = 1, \\ \text{ou} \\ \dfrac{q_\varphi}{q} + \dfrac{q'_\varphi}{q^n} = 1. \end{array} \right.$$

On a encore

$$c = ab - \varphi\varphi' = 0,$$

d'où

$$ab = \varphi\varphi' = q_\varphi q'_\varphi.$$

Systèmes afocaux. — Supposons enfin $D = 0$, condition qui est réalisée dans les systèmes *pairs*, lorsque tous les δ *impairs* sont nuls.

En pareils cas, on a

$$q_\varphi = q'_\varphi = \infty,$$
$$\varphi = \varphi' = \infty,$$
$$\Phi = \Phi' = 0;$$

par conséquent, les points focaux et avec eux tous les points homothétiques et antithétiques sont reportés à l'infini. En d'autres

termes, le système n'a pas de foyers principaux, ni aucun des points qui en dépendent : il est *afocal* ou à pouvoir dioptrique nul. En revanche, les points oculaires et cofocaux ne peuvent pas faire défaut, car ni A, ni B ne sauraient être nuls en même temps que D.

L'équation des abscisses primitives s'abaisse au premier degré et devient

[XXIII] $$Aq^n + Bq = C$$

ou, en divisant tous les termes par C et introduisant les abcisses *cofocales* q_0, q'_0

[XXIV] $$\frac{q}{q_0} + \frac{q^n}{q'_0} = 1.$$

La formule des ordonnées conjuguées se réduit dans les mêmes conditions à

[XXV] $$G = -\frac{\mathfrak{P}(f)}{A} = -\frac{B}{\mathfrak{P}(f')},$$

ou

[XXVI] $$G = \sqrt{\frac{B}{A} \times \frac{m_0}{m_n}} = \sqrt{\frac{q'_0}{q_0} \times \frac{m_0}{m_n}},$$

et, si les milieux extrêmes ont même réfringence ($m_n = m_0$),

$$G = \sqrt{\frac{q'_0}{q_0}}.$$

On voit que le signe et la valeur du grossissement sont constants dans un même système, quelle que soit la position de l'objet ou de l'image.

La formule de l'épaisseur devient

[XXVII] $$\frac{e'}{e} = \frac{B}{A} = \frac{q'_0}{q_0} = \frac{m_n}{m_0} G^2,$$

ce qui montre que le rapport des épaisseurs de l'image et de l'objet est aussi constant.

Enfin le système afocal peut aussi avoir un point symptosique, mais un seul, dont la position est donnée par l'expression de l'espace conjugué égalée à zéro

(32) $$E = \Delta + q'_0 + \left(1 - \frac{q'_0}{q_0}\right) q = 0,$$

d'où

(33) $$q = -\frac{\Delta + q'_0}{q_0 - q'_0}\, q_0.$$

On peut aussi simplifier l'équation des abscisses, en comptant la distance, soit de l'objet, soit de l'image, à partir du point cofocal correspondant. Supposons, par exemple, qu'on prenne pour origine des abscisses de l'image le second point cofocal, ce qui revient à poser

$$q^n - q'_0 = x'.$$

On obtient alors pour équation simplifiée

[XXVIII] $$x' = -\frac{B}{A}\, q = -\frac{q'_0}{q_0}\, q,$$

ou

$$x' = -\beta q,$$

équation qui représente une droite passant par l'origine des coordonnées.

Il est facile de trouver ce qui arrive lorsque C est nul en même temps que D : on a alors un système afocal dans lequel les points focaux des dioptres extrêmes sont conjugués, et l'équation des abscisses primitives se réduit à

$$A q^n + B q = 0,$$

d'où

[XXIX] $$q^n = -\frac{B}{A}\, q = -\beta q.$$

Ici les points oculaires ont pour abscisses

$$o = \frac{A}{B} f'_n \quad \text{et} \quad o' = \frac{B}{A} f_1,$$

d'où

$$oo' = f_1 f'_n.$$

Suivant que ce produit est positif ou négatif, les coefficients A et B sont de signe contraire ou de même signe et le grossissement est négatif ou positif.

Enfin, dans le cas où A = B, on a simplement

[XXX] $$q^n = -q,$$

et

$$G = \pm 1.$$

Addition au procès-verbal de la séance du 1er *juin* 1883. — M. Monoyer dit avoir trouvé, déjà depuis plusieurs années, la solution de la question traitée par M. Guébhard, dans la formule tout à fait générale

$$\Gamma = G\rho R,$$

qui représente le *pouvoir amplifiant*, défini : le rapport de grandeur des images rétiniennes d'un même objet vu successivement à l'œil armé d'un instrument d'optique et à l'œil nu.

En remplaçant le *grossissement* G par sa valeur en fonction du pouvoir dioptrique F de l'instrument, et en supposant la distance de l'objet vu à l'œil nu, $\rho = 1$, on obtient le *pouvoir relatif principal*

$$\Gamma_r = F + R - d_0 FR,$$

qui ne diffère que par la notation de l'expression donnée par M. Guébhard et qui conduit aux mêmes conclusions, relativement à l'influence de l'accommodation et à la mesure de la puissance du microscope.

Mais quand on suppose l'objet placé à la même distance de l'œil nu ou armé, la formule de M. Monoyer donne, en outre, le *pouvoir absolu*, lequel fait connaître l'action propre de l'instrument et permet seul d'évaluer la puissance des lunettes d'approche, où ρ ne saurait être arbitraire,

$$T_a = \frac{F_2}{F_1}\left[1 + \frac{1 + (d + d_0)F_1}{9F_1}\right]\left[1 + \frac{(1 - d_0 F_2)R}{F_2}\right].$$

Ici, comme précédemment, R représente l'inverse de la distance d'accommodation r de l'œil armé.

SÉANCE DU 20 JUILLET 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

M. Imbert (A.), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Lyon.

M. Sidot présente à la Société des échantillons d'un nouveau verre appelé *phosphorique*.

Quand on soumet le phosphate acide de chaux à l'action de la chaleur, il commence par se dissoudre dans son eau de cristallisation, puis se soli-

difie en noircissant, et, si l'on élève davantage la température, il fond, se décolore et prend l'état vitreux.

Pour arriver à l'obtenir à l'état de verre parfait, il faut élever graduellement la température en brassant la masse de temps en temps et maintenir cette température trois heures au moins, et plus s'il est possible; l'expérience a montré qu'il était nécessaire de prolonger le temps de chauffe pour avoir un verre bien homogène et sans bulles.

Le verre que l'on obtient ainsi ressemble tout à fait au verre silicique; ses propriétés physiques en sont très rapprochées. Son indice de réfraction, qui a été déterminé par M. Joly, est représenté par le nombre 1,523, celui du crown-glass étant 1,525. Il dissout les oxydes métalliques, tels que ceux de cobalt et de chrome pour donner des verres colorés. Il est gravé par les décharges électriques, comme l'a montré M. Planté. Il se distingue du verre ordinaire en ce qu'il donne à la flamme du chalumeau une teinte blafarde, tandis que le verre la teint en jaune.

Le verre phosphorique n'est pas attaqué par l'acide fluorhydrique, ou tout au moins ne peut être gravé par cet acide, sinon au bout de quelque temps, comme l'a remarqué M. Guntz, préparateur au Collège de France.

Il est plus fusible que le verre ordinaire et passe plus vite de l'état solide à l'état liquide, ce qui est une difficulté pour le travailler.

Malgré ces difficultés, M. Sidot est arrivé néanmoins, avec l'aide de M. Triau, ouvrier très habile et très ingénieux de la verrerie de Saint-Denis, que M. Legras dirige depuis longtemps, à fabriquer différents objets, tels que prismes, lentilles, tubes, ballons, cornues, etc., qui sont mis sous les yeux de la Société.

M. Gariel demande si le verre phosphorique peut supporter des températures élevées sans déformation.

M. Sidot répond que le verre phosphorique est plus fusible que le verre ordinaire et ne passe pas en fondant par l'état pâteux ; il se déforme donc plus facilement.

Sur diverses questions posées par MM. Potier et Joubert, M. Sidot fait connaître que la coloration de son verre lui paraît devoir être attribuée à la présence d'un peu de fer enlevé aux parois du creuset de terre ou à la tige de fer employée pour agiter la masse en fusion. La silice du creuset peut intervenir comme fondant dans une certaine mesure; cependant la fusibilité paraît être la même quand on opère dans un creuset de platine, Les acides et les bases agissent lentement sur le verre phosphorique aux températures élevées; l'eau ne paraît pas avoir d'action appréciable soit comme agent chimique, soit somme dissolvant, même à l'ébullition.

M. H. Becquerel expose à la Société la suite de ses *Études sur les radiations infra-rouges au moyen des phénomènes de phosphorescence.*

Il a déjà montré à la Société comment les effets d'extinction qui produisent les radiations infra-rouges sur une substance phosphorescente

préalablement insolée lui ont permis de dessiner de nombreuses raies dans cette région du spectre solaire et de déterminer leur longueur d'onde.

En appliquant la méthode qu'il a déjà décrite, il a étudié les spectres d'absorption de diverses substances; il cite en particulier l'eau liquide qui, dans la région où les substances phosphorescentes employées sont sensibles, donne trois bandes d'absorption, A' ($\lambda = 930$), A'' ($\lambda = 1080$) et A''' ($\lambda = 1230$) qui coïncident avec trois fortes bandes du spectre solaire. Le didyme donne trois fortes bandes qui, avec une dissolution concentrée, s'étendent de 730 à 756, de 782 à 810 et de 872 à 890. Le samarium de M. Lecoq de Boisbaudran donne deux très belles bandes, 1050 et 1140.

Un des résultats les plus importants et les plus nouveaux de ces recherches est l'observation des spectres d'émission infra-rouges des vapeurs métalliques, sur lesquels on ne possédait jusqu'ici aucun renseignement.

Les spectres étaient obtenus en volatilisant dans l'arc voltaïque les métaux ou leurs chlorures, et en concentrant très fortement sur la fente de l'appareil l'image de l'arc électrique. On a observé ainsi des raies dans l'infra-rouge qui, sur la substance phosphorescente employée, apparaissaient avec beaucoup d'éclat. On citera notamment les raies suivantes :

Sodium, deux belles raies : $\lambda = 819$, $\lambda = 1098$.
Magnésium, trois raies très fortes : $\lambda = 875,5$, $\lambda = 1030$, $\lambda = 1130$.
Calcium : $\lambda = 848$.

Ces raies concordent avec des raies obscures du spectre solaire :

Potassium, cinq raies : 770, 1003, 1073, 1125, 1182.
Argent : 772, 829.
Thallium, une raie : $\lambda = 1105$.

D'autres métaux ont été étudiés, parmi lesquels le plomb, qui donne six belles raies, l'étain, le zinc, le cadmium, l'aluminium.

Depuis A jusqu'à la longueur d'onde 890 environ, on peut observer tous les phénomènes précités à l'œil nu, en affaiblissant convenablement la lumière incidente par un écran de sulfure de carbone iodé.

De nombreuses raies fines échappent encore à l'observation, mais l'auteur espère les discerner en perfectionnant encore la disposition expérimentale et étendre, s'il se peut, la limite de la région étudiée.

Cette méthode ouvre à l'analyse spectrale un champ tout nouveau qui, entre les longueurs d'onde 760 et 1300, comprend un intervalle de longueur, d'onde supérieur à l'écart qu'il y a entre l'extrême rouge du spectre visible et la dernière des radiations ultra-violettes connues. Les premiers résultats obtenus permettent d'espérer que cette étude sera aussi féconde que celle des régions lumineuse et ultra-violette.

Description du nouveau cathétomètre de M. Dumoulin-Froment; par M. A. Terquem.

La plupart des cathétomètres présentent certains défauts dans leur construction, qui en rendent l'emploi incommode et même défectueux.

1° Leur longueur est souvent plus grande qu'il n'est nécessaire, quand on veut déterminer de faibles différences de niveau, comme dans les expériences de capillarité, par exemple;

2° Le glissement du curseur ne peut s'effectuer sans occasionner quelques trépidations, qui se communiquent à la lunette, et peuvent légèrement altérer la lecture de la longueur qu'on veut mesurer;

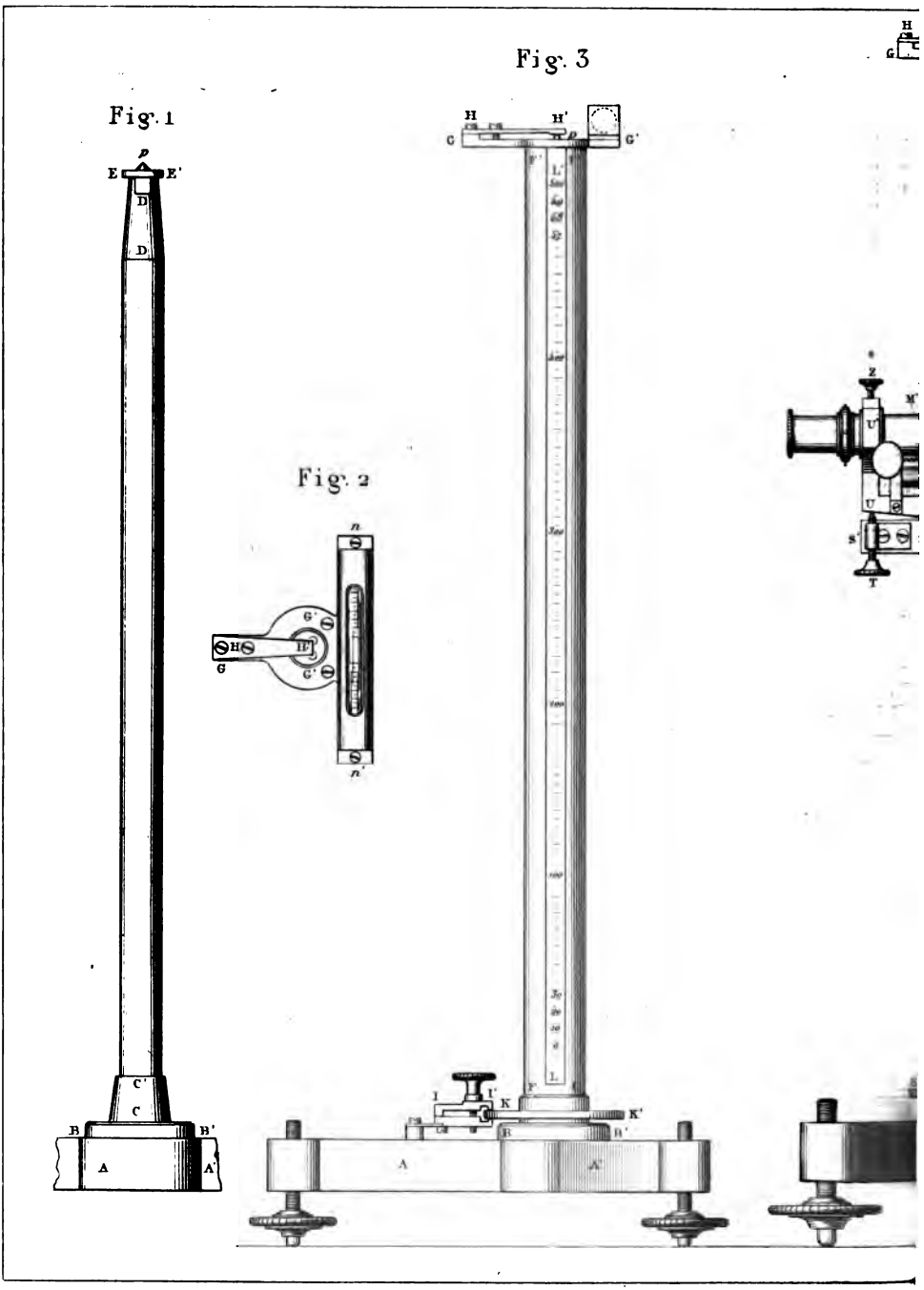
3° La lecture du vernier au 50e de millimètre est toujours fatigante, et dans les cathétomètres actuels cette lecture ne peut être effectuée que par le déplacement de l'observateur, ou la rotation de l'appareil de 90°;

4° L'approximation dans les lectures ne peut donc dépasser le 50e de millimètre par l'emploi du vernier. Avec la vis micrométrique qui réunit les deux parties du curseur, on pourrait obtenir une plus grande approximation, à la condition de donner plus de force à cette vis et de lui faire conduire un poids moindre que celui de la deuxième partie du curseur. Ces divers inconvénients ont été évités dans le nouveau cathétomètre que M. Dumoulin-Froment a construit, à ma demande, pour la Faculté des Sciences de Lille.

L'échelle est complètement indépendante de la lunette, qui n'est plus, en réalité, qu'un liseur très précis tournant autour d'un axe parfaitement vertical. Comme la construction de l'échelle est plus simple et que celle du cathétomètre est très analogue à la première, je commencerai par la description de l'échelle.

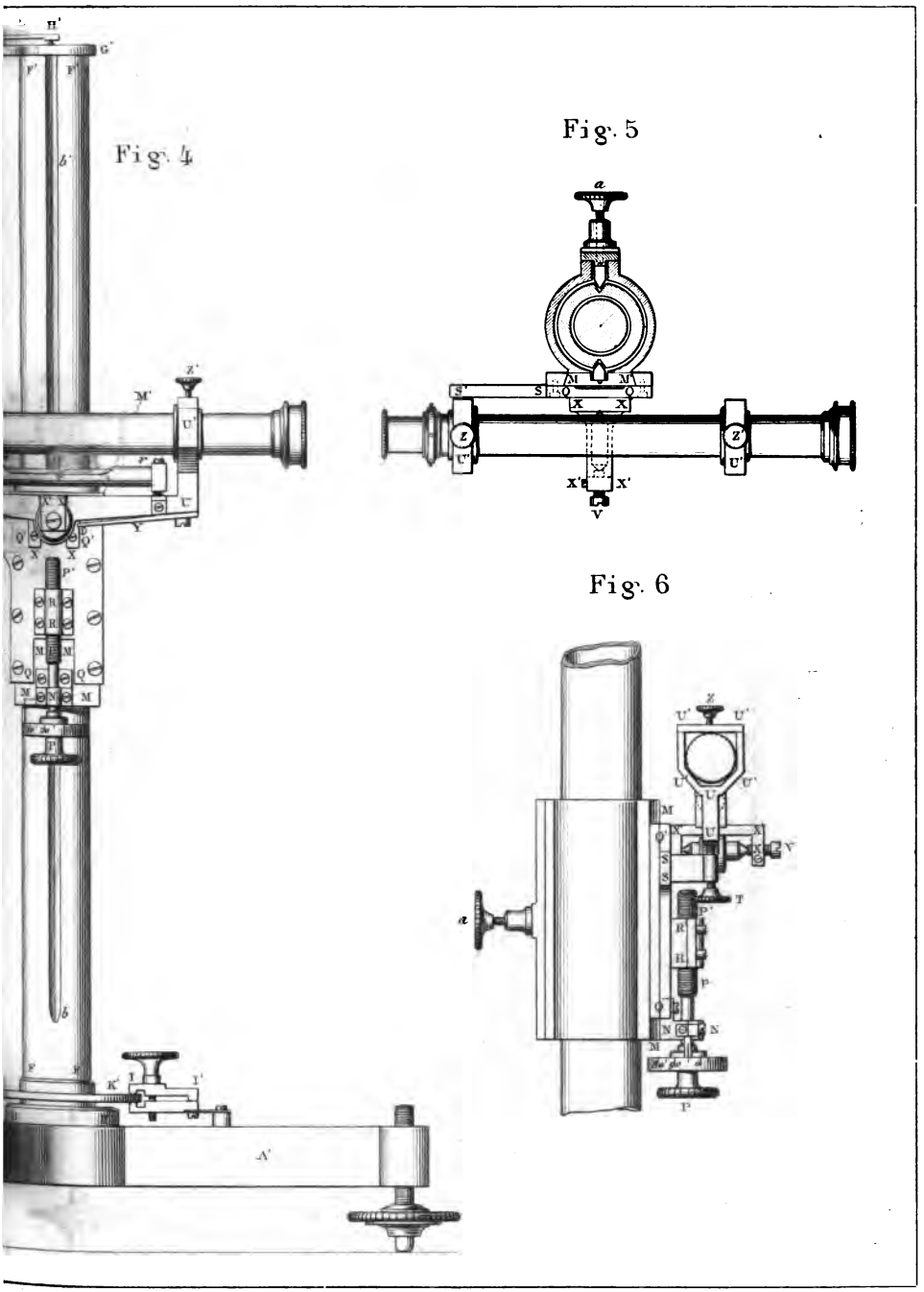
ÉCHELLE DIVISÉE.

A. *Pied et axe de rotation.* — Le pied en fonte, très solide, AA′ (*voir* la Planche) a la forme habituelle; il se compose d'un disque circulaire central, avec trois branches terminées par des vis calantes



Imp. R. Taneur, Paris.

DESCR
NOUVEAU CATHÉTOMÈTRE DE Mr DU



I. Chaumont et Bertrand, del. et sc.

TION DU
OULIN-FROMENT, PAR Mr A. TERQUEM

(
fo
er
tr
se
un
pl
re
re
tr
E

de
de
s'
pa
st

la
ri
es
G
co
re
fi
fo
s
e
r
c
p
r

r
c

(*fig.* 1 et 3). Sur le disque central est fixée, par des vis, une plate-forme BB′ en fer, bien dressée. Au centre s'élève la tige centrale en fer forgé CC′DD′ (*fig.* 1), maintenue à l'aide d'une tige filetée traversant les pièces AA′, BB′ et d'un écrou. A la base de cette tige se trouve un tronc de cône CC′, parfaitement tourné, et vers le haut un second tronc de cône DD′. Enfin cette tige est terminée par une pièce d'acier EE′, portant au centre une pointe *p* et tout autour un rebord saillant; la partie cylindrique inférieure de cette pièce est reçue dans une cavité de même forme creusée dans la tige centrale, et trois vis à têtes noyées rendent la tige CC′DD′ et la pièce EE′ complètement solidaires.

B. *Manchon et échelle.*— Autour de cet axe tourne un manchon de laiton (*fig.* 3) FFF′F′. A celui-ci sont fixées intérieurement deux viroles de bronze, ayant la forme de troncs de cônes, et qui s'appuient sur les troncs de cônes CC′ et DD′ de la tige centrale; la partie inférieure du manchon de laiton s'appuie aussi légèrement sur la plaque BB′.

Pour diminuer les frottements sur les cônes CC′ et DD′ et sur la plaque BB′, et rendre la rotation plus facile, à la partie supérieure du manchon est vissée la virole GG′ (*fig.* 2 et 3). Celle-ci est formée d'un disque G′G′ évidé au centre, d'une sorte d'alidade G et d'une pièce rectangulaire dirigée tangentiellement à la circonférence extérieure de G′G′. Dans l'évidement central G′G′ est reçu le rebord de la pièce d'acier EE′ (*fig.* 1). Sur l'alidade est fixé un fort ressort d'acier HH′ portant à son extrémité H′ un renforcement dans lequel est creusée une cavité conique qui s'appuie sur la pointe *p* de la pièce EE′. Le manchon est ainsi maintenu en place et ne peut recevoir d'autres déplacements qu'un mouvement de rotation autour de l'axe commun de la pointe *p* et des deux cônes CC′ et DD′. Sur la plaque rectangulaire tangentielle est placé un niveau à bulle d'air, qu'on peut régler par le retournement, comme on le fait habituellement.

Pour faire tourner le manchon, celui-ci porte à la partie inférieure un disque KK′ qui passe entre les mâchoires d'une pince II′, que porte une des branches du pied de l'appareil.

La division, en millimètres, est gravée sur une surface plane LL′ obtenue en rabotant longitudinalement le manchon cylindrique.

VISEUR A VIS MICROMÉTRIQUE.

Le pied et la tige centrale sont identiques aux mêmes pièces de l'échelle, sauf que les dimensions en sont plus grandes (ainsi que le fait voir la *fig.* 4); les mêmes lettres désignent les mêmes pièces; toutefois la virole GG′ ne porte plus de niveau.

A. *Manchon.* — Dans le manchon cylindrique sont creusés deux sillons ou rainures longitudinales diamétralement opposées *bb′* (*fig.* 4 et 5) en forme de V, qui servent de guides au curseur.

B. *Curseur.* — Le curseur, en grande partie cylindrique, ne touche pas le manchon, dont il est séparé par un espace vide d'environ $0^m,02$. Il porte intérieurement deux lames de laiton biseautées et verticales, qui glissent dans les rainures du manchon. La lame antérieure est fixe; la lame postérieure peut être pressée par la vis *a*; elle est guidée par deux goupilles, qui ne lui permettent que le mouvement antéro-postérieur. Le glissement s'effectue ainsi très facilement, ainsi que l'arrêt du curseur à toute hauteur.

La partie antérieure du curseur est plane, et il s'y trouve vissée une plaque rectangulaire MMM′M′ (*fig.* 4, 5, 6) parfaitement dressée et biseautée sur ses bords. C'est sur cette plaque que glisse la monture de la lunette; elle porte en outre, fixée à la partie inférieure de la pièce N (*fig.* 4 et 6), dans laquelle tourne le renflement sphérique, la tige de la vis PP′, qui produit le déplacement lent de la lunette; cette vis est indispensable dans ce cathétomètre, puisque, par suite de la suppression du vernier, elle sert à la lecture des divisions du millimètre. Sur cette pièce N est fixée latéralement la plaque portant le trait de repère pour la lecture des divisions du tambour divisé de la vis PP′.

C. *Lunette.* — Elle ne présente rien de particulier. Les réticules sont mobiles, de manière à permettre d'établir la coïncidence de l'axe géométrique et de l'axe optique.

D. *Fourchettes et support de la lunette.* — Sur la plaque biseautée MM′, solidaire du curseur, peut glisser la plaque QQ′ (*fig.* 4,

5, 6) qui porte : 1° l'écrou RR′ de la vis micrométrique PP′, 2° l'axe de rotation des fourchettes et de la lunette. Cette plaque est prolongée latéralement par la pièce SS′, qui porte l'écrou de la vis T, servant au réglage de la lunette.

Les fourchettes U, U, U′, U′, qui supportent la lunette, sont traversées par une tige d'acier, terminée par deux pointes reçues dans deux petites cavités coniques dont l'une est creusée à l'extrémité de la vis V. Celle-ci est portée par une sorte d'étrier XX′, fixé sur la pièce QQ′ et traversant le système des fourchettes, grâce à une entaille pratiquée dans la partie horizontale.

Les fourchettes s'appuient donc sur l'extrémité de la vis T, et, d'un autre côté, un fort ressort d'acier Y, s'appuyant sur une goupille, maintient le contact.

Le niveau à bulle d'air est fixé sur la traverse horizontale qui réunit les fourchettes, et non sur la lunette, comme cela se fait habituellement. Le réglage du parallélisme de l'axe géométrique de la lunette et du niveau peut néanmoins s'opérer par le retournement; l'écartement du niveau et de la lunette rend les lectures du niveau plus faciles; évidemment le niveau peut basculer autour d'une de ses extrémités par l'action d'une vis et d'un ressort. Du reste, la coïncidence de l'axe optique et de l'axe géométrique de la lunette, ainsi que le parallélisme de ce dernier avec le niveau, ne sont pas indispensables si l'axe de rotation du cathétomètre est bien vertical et si les plans horizontaux visés, ainsi que l'échelle, sont à la même distance de la lunette; mais évidemment le parallélisme est préférable.

La lunette, placée dans les fourchettes, est maintenue dans une position invariable à l'aide des deux vis de pression Z, Z′ qui traversent les deux lames vissées sur les montants verticaux des fourchettes.

E. *Vis micrométrique.* — La vis micrométrique PP′ a un pas de $0^{m},001$; son diamètre est de 11^{mm}. Elle porte un tambour divisé en cent parties, ce qui permet de lire facilement le millième de millimètre. Elle porte un renflement sphérique reçu dans une cavité de même forme creusée dans la pièce N; celle-ci, fixée en bas de la plaque M, est formée de deux parties qu'on peut serrer à l'aide de vis. La plaque mobile QQQ′Q′SS′ porte l'écrou creusé

dans la pièce RR′, formée également de deux parties serrées par des vis. Cette pièce est fixée, non au bas de cette plaque, mais au milieu, comme le montre la *fig.* 4. Cette disposition produit un glissement plus régulier de la plaque QQQ′Q′ sur la plaque MM′. Le jeu du renflement sphérique dans la cavité de la pièce N et du filet de la vis PP′ dans son écrou est tellement faible, que le pointage se fait avec la même précision en montant qu'en descendant, et atteint environ $\frac{1}{200}$ de millimètre, approximation qui peut être encore dépassée si les traits de l'échelle sont suffisamment fins.

RÉGLAGE ET EMPLOI DU CATHÉTOMÈTRE.

Quand on veut déterminer la distance verticale de deux plans horizontaux à l'aide de ce cathétomètre, par exemple l'ascension d'un liquide dans un tube capillaire, on place l'instrument à examiner de telle sorte que les deux niveaux à viser soient vus nettement tous les deux; puis on déplace l'échelle, en la mettant dans le voisinage du premier instrument, de telle sorte que les traits de l'échelle soient vus également avec la plus grande netteté. On règle alors le cathétomètre à l'aide du niveau de la lunette, en se servant des vis calantes du pied et de la vis T, comme on le fait d'habitude (c'est à dessein qu'on n'a pas mis de niveaux sur le pied).

On rend de même verticale la règle divisée à l'aide du niveau *nn′*. Les fractions de millimètre se déterminent évidemment en déplaçant la lunette à l'aide de la vis micrométrique, jusqu'à ce que le croisement des réticules coïncide avec le trait immédiatement inférieur ou supérieur de l'échelle et constatant, à l'aide du trait de repère, de quelle quantité on a fait tourner la vis pour établir cette coïncidence. En tournant la vis dans le même sens, de manière à faire descendre la lunette, on évite complètement toute espèce de temps perdu dans les contacts à l'intérieur des pièces N et RR′.

On pourrait, en outre, modifier le cathétomètre de manière à tracer la division sur le manchon et se passer d'échelle séparée et de vernier. Il suffirait de faire dans le curseur une sorte de fenêtre rectangulaire (*fig.* 6) et de fixer sur la pièce QQ′ un bras qui glisserait sur l'échelle dans l'intérieur de la fenêtre; la coïncidence

avec un trait de l'échelle serait encore obtenue avec la vis micrométrique. Ce mode de lecture serait plus commode et plus précis que dans les cathétomètres actuels, à cause de la plus grande force de la vis micrométrique, du poids moindre qu'elle a à déplacer et du peu de frottement qui existe dans le glissement des deux plaques MM′ et QQ′.

Le réglage du niveau et de l'axe optique de la lunette s'effectuent de la manière suivante :

Après avoir rendu verticale l'échelle divisée, on règle le viseur à l'aide des vis calantes et de la vis T, comme si le parallélisme existait.

On pointe alors la lunette sur un des traits de l'échelle :

1° La coïncidence de l'axe optique et de l'axe géométrique de la lunette est obtenue en faisant tourner la lunette dans ses colliers et déplaçant le croisement des réticules, jusqu'à ce que le pointage continue à se faire sur le même trait pendant la rotation;

2° Pour établir le parallélisme du niveau et de l'axe géométrique, on enlève les traverses supérieures des fourchettes et on retourne la lunette bout pour bout; ayant fait tourner le manchon de 180°, on pointe de nouveau sur l'échelle. Si le pointage n'a pas lieu sur le même trait, on rétablit la coïncidence moitié à l'aide de la vis T, moitié par la vis micrométrique PP′, et en même temps on ramène la bulle au zéro à l'aide de la vis *r* du niveau ; après quelques retournements de la lunette, on arrive à établir le parallélisme.

LÉGENDE DES FIGURES.

Figure 1.

Tige centrale de l'échelle.

AA′..... Base de l'appareil.
BB′..... Disque de fer poli vissé sur AA′.
CC′..... Tronc de cône tourné à la base de la colonne.
DD′..... Tronc de cône terminal.
EE′..... Pièce terminale en acier fixée par trois vis sur la colonne portant au centre une pointe *p*.

Figure 2.

Virole supérieure fixée sur le manchon de l'échelle, vu par dessus,

G′G′..... Disque évidé au centre recevant la pièce EE′.
HH′..... Ressort d'acier s'appuyant sur la pointe *p*.
nn′..... Niveau à bulle d'air.

FIGURE 3.

Échelle divisée.

AA'..... Base avec vis calantes.
BB'..... Plaque de fer poli vissée sur la base.
KK'..... Disque destiné à faire tourner le manchon FFF'F'.
II'..... Pince pour maintenir fixe le disque et le manchon.
FFF'F'..... Manchon de laiton.
LL'..... Surface plane sur laquelle est gravée l'échelle.
GG'..... Virole supérieure.
HH'..... Ressort d'acier s'appuyant sur la pointe *p*.

FIGURE 4.

Cathétomètre vu de face.

AA'..... Base avec vis calantes.
BB'..... Disque de fer poli vissé sur la base.
KK'..... Disque, fixé au manchon, destiné à le faire tourner.
II'..... Pince pour fixer le manchon et le disque KK'.
FFF'F'..... Manchon cylindrique dans lequel sont creusées les deux rainures longitudinales *bb'*.
GG'..... Virole supérieure.
HH'..... Ressort d'acier s'appuyant sur la pointe centrale *p*.

Curseur.

MMM'M'.... Plaque fixée sur le devant du curseur.
QQQ'Q'SS'. Plaque mobile glissant sur la première et conduite par la vis micrométrique.
PP'..... Vis micrométrique dont l'écrou RR' est porté par la plaque QQQ'Q'.
N..... Pièce fixée sur la plaque MM et dans laquelle tourne le renflement sphérique de la tige de la vis PP'.
SS'..... Prolongement de la plaque QQQ'Q' portant à son extrémité l'écrou de la vis T.
XXX'X'..... Parties de l'étrier qui reçoit les extrémités du pivot des fourchettes.
T..... Vis servant à faire tourner le système des fourchettes.
UUU'U'..... Fourchette supportant la lunette et le niveau.
V..... Vis dans l'intérieur de laquelle pénètre l'une des extrémités de l'axe de rotation des fourchettes.
r..... Vis de réglage du niveau.
ZZ'..... Vis de pression pour établir la fixité de la lunette.

FIGURE 5.

Coupe du cathétomètre à la hauteur du curseur.

Les mêmes lettres désignent les mêmes parties.

FIGURE 6.

Curseur vu de côté.

Les mêmes lettres désignent les mêmes parties.

SÉANCE DU 16 NOVEMBRE 1883.

PRÉSIDENCE DE M. POTIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juillet est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société les pertes regrettables qu'elle a faites pendant les vacances par la mort de MM. Plateau, membre honoraire, Alfred Niaudet, archiviste-trésorier honoraire, et Louis Breguet, membre fondateur.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une lettre par laquelle M. Grezel fait connaître à la Société une pile de son invention composée de zinc, d'une dissolution de soude caustique et d'une lame de cuivre entourée d'oxyde de cuivre noir comme substance polarisante. D'après l'auteur, cette pile, qui ne répand aucune odeur, fonctionne avec une grande régularité et donne, en court circuit, un courant qui reste constant pendant longtemps.

La Société a reçu, en outre, deux Notes de M. Bandsept.

La première a pour titre *Réponse à une Note de M. Trève et pour objet les phénomènes mécaniques qui ont lieu dans le choc des billes d'ivoire.*

La seconde traite *des phénomènes d'induction produits dans l'électromoteur de Griscom.*

M. de Romilly, au sujet de la Communication de M. Sidot sur un nouveau verre nommé par lui *verre phosphorique*, réclame la priorité pour M. Frédéric Margueritte qui, vers 1855, a fait diverses publications, pris des brevets où se trouvent signalées les propriétés du biphosphate de chaux : 1° de former un verre transparent, incolore, limpide; 2° de dissoudre, sans perdre ses qualités, divers corps : silice, alumine, etc., oxydes métalliques libres, sels à acides volatils à la température de fusion, sulfates, sulfures, arséniures, etc.; 3° de prendre des couleurs éclatantes avec les bases colorantes, cobalt, urane, chrome, etc.; 4° de dissoudre des quantités considérables de sels de fer sans prendre de coloration sensible, propriété utile à noter pour les physiciens; 5° de pouvoir être soufflé, quoique difficilement. Enfin, comme vue générale, M. Margueritte signale la classe des verres phosphoriques comme se distinguant, par la tendance à l'acidité, de la classe des verres siliciques qui a tendance à l'alcalinité; de sorte que le verre phosphorique est d'autant plus stable qu'il a dissous plus de bases, tandis que le verre silicique sera d'autant plus stable qu'il en aura moins dissous.

M. Émile Reynier présente à la Société une nouvelle *pile-étalon, pour*

la mesure des forces électromotrices. C'est une application particulière de l'appareil proposé par l'auteur pour la mesure des forces électromotrices *maxima* de diverses combinaisons voltaïques.

L'*étalon* a pour électrode positive une lame de cuivre plissée et ajourée, développant une surface efficace de 30^{dl}, c'est-à-dire 300 fois plus grande que l'électrode négative. Celle-ci est un fil de zinc *amalgamé* de 3^{mm}, plongeant au centre du récipient. On peut soulever l'électrode négative hors du liquide pour mettre l'étalon au repos.

Ce couple, qui contient 800^{cc} de liquide, a une résistance de $0^{ohm},2$ à 4^{ohms}, selon le liquide employé; valeur négligeable devant les résistances de 1000 à 20000^{ohms} qu'on peut donner aux circuits galvanométriques, sa force électromotrice perd moins d'un centième de sa valeur par un travail de deux heures à l'intensité de *un milliampère*. L'*étalon* se prête donc aux mesures de force électromotrice par les procédés galvanométriques. Il va sans dire qu'on peut l'employer à la mesure des potentiels par les méthodes *à circuit ouvert*.

La force électromotrice de l'*étalon* dépend naturellement du liquide employé; celui que M. Reynier préfère est la *dissolution de sel marin*. Avec ce liquide, la force électromotrice du couple est $0^{volt},82$. L'auteur s'est assuré, par de nombreuses mesures, que cette valeur demeure sensiblement invariable entre les températures de 5° et 40° C.

M. Rivière expose la méthode qu'il applique, en collaboration avec M. Chappuis, à la recherche des indices des gaz sous de fortes pressions.

Après divers essais, les auteurs se sont arrêtés à la disposition suivante :

Le gaz, emmagasiné dans un réservoir en fer, est comprimé dans une cavité prismatique fermée à chacune de ses extrémités par une glace épaisse. Un long tube de fer flexible, pénétrant d'une part jusqu au fond du réservoir, communique par son autre extrémité avec un tube de verre disposé le long d'une règle divisée. On comprime le gaz en versant du mercure par ce tube. La variation de pression se déduit du poids du mercure introduit et de la dénivellation qui se produit dans le tube de verre; la variation correspondante de l'indice se déduit du déplacement de franges d'interférence obtenues dans une lumière monochromatique à l'aide du réfractomètre interférentiel de M. Jamin.

Pile-étalon pour la mesure des forces électromotrices; par M. Émile Reynier.

Toute pile constante, dont la force électromotrice est connue, peut servir de témoin dans la mesure des différences de potentiel; mais, pour constituer un *étalon* sûr et commode, un couple doit

posséder un ensemble de qualités qu'on ne trouve réunies dans aucune des piles destinées aux usages courants.

Le couple-étalon doit avoir une force électromotrice constante, non influencée par les variations de la température, et rester longtemps identique à lui-même, en circuit ouvert ou en circuit fermé; il faut que son montage, simple et facile, ne comporte que des substances qu'on puisse aisément obtenir ou préparer. Il est utile que la résistance de l'étalon soit assez petite pour être négligeable en présence des résistances de 1000^{ohms} à 20000^{ohms} que comportent les circuits galvanométriques. Enfin on pourrait souhaiter, par surcroît, que la force électromotrice de l'appareil fût précisément égale à *un volt,* pour simplifier les calculs : cette dernière condition est la moins importante de toutes; dans beaucoup de cas, elle n'est même d'aucune utilité.

On sait que les divers étalons connus ne possèdent point toutes ces qualités. Le couple Daniell, dans la forme connue sous le nom d'*étalon du Post-Office,* m'a paru être le moins imparfait de tous. Mais il comporte deux liquides; la constitution du couple s'altère par le mélange des liqueurs pendant la fermeture du circuit, et l'on n'évite ce mélange, en circuit ouvert, qu'au prix d'une manipulation dont on aimerait à se dispenser. Les sulfates de cuivre et de zinc du commerce sont acides, mais pas toujours au même degré; on peut craindre que ces différences d'acidité ne changent la force électromotrice attribuée à l'appareil [1].

L'étalon zinc-cadmium a les mêmes qualités et les mêmes défauts que le précédent.

La pile au chlorure d'argent de M. Warren de la Rue est d'une préparation délicate; en circuit ouvert, son zinc se recouvre d'une couche d'oxychlorure qui rend très grande la résistance du couple. Quant à l'étalon Latimer Clark, il ne peut pas fournir de courant, et par conséquent n'est utilisable que pour les mesures de potentiel par l'électromètre ou par le condensateur.

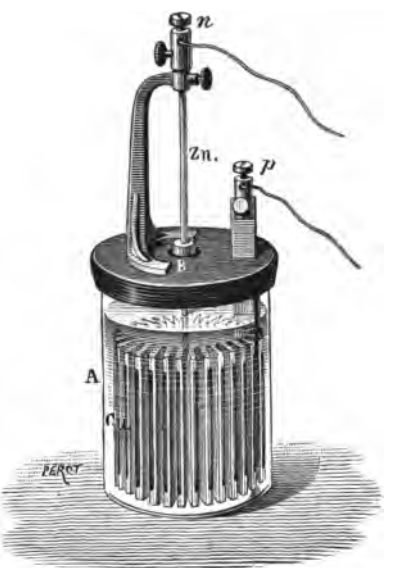
---

[1] J'ai constaté qu'une très faible addition d'acide sulfurique dans l'un ou l'autre compartiment d'un couple Daniell abaisse sensiblement sa force électromotrice.

Le nouveau couple-étalon (*fig.* 1), que j'ai l'honneur de présenter à la Société, me paraît exempt des défauts qu'on trouve dans ses aînés.

Très simples sont sa construction et son montage. L'électrode négative est un fil de zinc de 3^{mm} de diamètre, immergé sur une longueur de $0^{m},10$, soit une surface de 10^{cq} environ. L'électrode positive est une lame de cuivre Cu, plissée et ajourée, dont les

Fig. 1.



plis rayonnent autour du zinc; les fentes pratiquées sur toutes les arêtes assurent la circulation du liquide et permettent à l'action électrolytique de s'étendre à la surface entière de l'électrode, qui a 30^{dq}. Le rapport des surfaces positive et négative est donc environ 300; c'est ce très grand développement relatif de l'électrode positive qui assure la constance du couple.

Le récipient est en verre; sa capacité (800^{cc}) est assez grande pour que les produits résultant de la dissolution du zinc n'altèrent pas sensiblement la composition du liquide. Le couvercle du vase est surmonté d'une potence qui guide le zinc et le supporte,

lorsqu'on veut soulever l'électrode hors du liquide pour mettre le couple au repos.

Les *constantes* du couple dépendent naturellement du liquide choisi.

La *résistance* est de $0^{ohm},2$ à 4^{ohms}.

La *force électromotrice* est *un volt* avec la dissolution de sulfate de zinc (le zinc de l'étalon n'étant pas amalgamé). MM. Ayrton et Perry avaient déjà noté cette différence de potentiel du système zinc-cuivre-sulfate de zinc; mais n'ayant point donné à ce couple une disposition qui lui permît de débiter un courant, ils n'ont pu le proposer comme étalon que pour les méthodes *à circuit ouvert.*

Malgré la propriété qu'elle a de donner *le volt,* je ne préfère pas la dissolution de sulfate de zinc, parce que la pile aurait, avec ce sel, l'un des défauts que je reprochais tout à l'heure à l'étalon Post-Office : ces variations d'acidité de la liqueur qui peuvent inspirer des doutes sur la valeur exacte de la force électromotrice du couple.

Le liquide que j'ai choisi, au moins provisoirement, est la dissolution du *sel marin.* Ce sel étant un produit comestible, on est sûr de l'obtenir toujours parfaitement neutre. Le titre de ma dissolution est de 250 parties de sel dans 1000 parties d'eau; il est utile de la filtrer pour séparer les substances insolubles qui peuvent la troubler.

La force électromotrice du couple zinc *amalgamé,* cuivre, eau salée, est $0^{volt},82$ à la température de 13°C. à 15°C.; j'ai retrouvé cette valeur dans toutes les mesures que j'ai faites, en comparaison avec un étalon Post-Office, auquel j'attribuais $1^{volt},08$.

Fermé sur une résistance de 820^{ohms} seulement, l'étalon perd moins de $\frac{1}{100}$ de sa force en deux heures. On peut donc admettre qu'il ne varie pas sur un circuit très résistant, pendant les quelques minutes nécessaires à une lecture.

Pour me rendre compte de l'influence de la température, et aussi pour contrôler la justesse de mes rhéostats, j'ai prié M. Hospitalier de vouloir bien mettre à ma disposition, pendant quelques heures, l'excellente collection d'instruments de mesure qu'il possède en son laboratoire de l'École de Physique et de Chimie industrielle de la ville de Paris.

Une première mesure faite à la température de 17° C. a donné de nouveau la valeur de $0^{volt},82$. On a chauffé l'étalon à 40°, puis refroidi jusqu'à 5°. A ces deux températures, j'ai trouvé des différences tellement petites qu'on peut les attribuer à des erreurs de lecture ; elles n'indiqueraient même pas nettement le sens de la variation, si toutefois il y en a une.

Ainsi la force électromotrice de l'étalon doit être considérée comme constante, malgré les changements de la température ambiante.

Tels sont les résultats de mes vérifications. Je désirerais qu'elles fussent contrôlées par d'autres expérimentateurs, avec des méthodes variées. Et, si l'on reconnaît au nouvel étalon les qualités que je me suis efforcé de lui donner, j'inviterai les électriciens à s'en servir, jusqu'à ce que les progrès de la Science en aient fait découvrir un meilleur.

Sur les forces électromotrices des couples à un seul électrolyte (1), par M. Émile Reynier.

Parmi toutes les valeurs que peut prendre la force électromotrice d'un couple à un seul électrolyte, il y en a deux qu'il faut connaître : la plus grande et la plus petite. Je crois avoir réussi à obtenir la mesure de ces grandeurs extrêmes au moyen de deux modèles de pile agencés spécialement dans ce but.

Le *couple à maxima* affecte les mêmes dispositions que la *pile-étalon* (*fig.* 1, p. 188), décrite précédemment; mais il peut comporter des électrodes positive et négative faites en des métaux autres que le cuivre et le zinc.

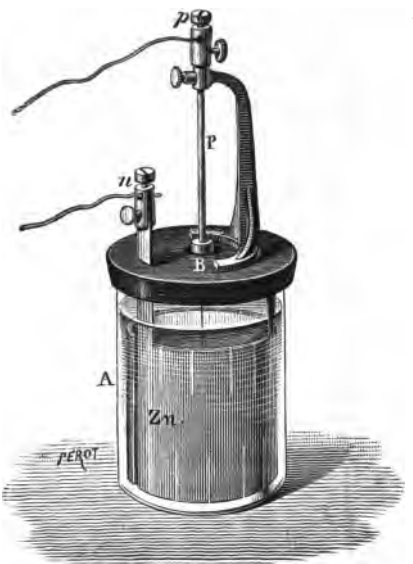
Le *couple à minima* (*fig.* 2) a les dimensions extérieures du précédent; mais c'est l'électrode négative qui possède ici la plus grande surface, 5^{dq} environ. L'électrode positive est un fil de $0^{mm},5$ de diamètre, dont la surface immergée a moins de 1^{cq}. Les résistances

(1) L'expression de « pile à un *seul* électrolyte », adoptée ici, a été proposée par le très regretté Alfred Niaudet, pour remplacer l'expression ancienne de *pile à un seul liquide,* dont le sens est trop général, car elle semble comprendre les couples à sels ou oxydes insolubles, qui sont des piles à deux électrolytes.

de cette pile sont à peu près les mêmes que celles du couple à maxima : $0^{ohms},2$ à 4^{ohms}, selon le liquide employé.

Pour mesurer la force électromotrice minima du couple, on met les deux fils qui vont au galvanomètre en communication avec les deux bornes d'une clef de court circuit; on ferme la clef pendant plusieurs heures, puis on l'ouvre, et l'on fait aussitôt une mesure qui donne une valeur très approchée, sinon exacte de la différence de potentiel cherchée. L'électrode positive de ce couple

Fig. 2.



ayant une très petite surface, les produits d'oxydation formés par l'action de l'air ne s'élaborent qu'en faible quantité; ils sont complètement réduits par la fermeture en court circuit et ne se reforment pas assez vite pour troubler sensiblement la mesure. A l'ouverture de la clef, *le couple ne renferme point de corps autres que ceux contenus dans sa définition.*

Avec ces deux modèles de pile, j'ai mesuré les forces électromotrices maxima et minima d'un certain nombre de combinaisons voltaïques à un seul électrolyte. Voici le Tableau des chiffres obtenus :

Désignation des piles.			Forces électromotrices en volts.	
Liquides.	Électrode négative.	Électrode positive.	Maxima.	Minima.
Eau acidulée sulfurique.	Zinc ordinaire	Iridium	»	0,270
	Zinc amalgamé	»	»	0,289
	Zinc ordinaire	Platine	»	0,5
	Zinc amalgamé	»	»	0,561
	Zinc ordinaire	Or	»	< 0,156
	Zinc amalgamé	»	»	0,128
	Zinc ordinaire	Argent	»	< 0,098
	Zinc amalgamé	»	»	0,108
Eau ..... 1000 vol	Zinc ordinaire	Charbon	»	0,04
	Zinc amalgamé	»	»	0,226
Acide sulfurique monohydraté..... 2	Zinc ordinaire	Plomb	»	0,144
	Zinc amalgamé	»	»	0,152
	Zinc ordinaire	Cuivre	0,94	0,194
	Zinc amalgamé	»	1,072	0,272
	Zinc ordinaire	Fer	0,429	0,309
	Zinc amalgamé	»	0,476	0,323
	Zinc amalgamé	Zinc ordinaire	»	< 0,09
	Fer	Cuivre	0,49 à 0,51	»
Solution de chlorure de sodium.	Zinc ordinaire	Iridium	»	0,052
	»	Platine	»	0,034
	»	Or	»	< 0,028
	»	Charbon	»	< 0,040
	»	Argent	»	0,043
	»	Cuivre	0,78	0,025
Eau ..... 1000 gr	Zinc amalgamé	»	0,82	»
Chlorure de sodium. 250	Zinc ordinaire	Fer	0,378	0,046
	Zinc amalgamé	»	0,469	»
	Zinc ordinaire	Plomb	0,503	0,044
	Zinc amalgamé	»	0,52	»
	Fer	Cuivre	0,27 à 0,25	»
	Plomb	»	0,27 à 0,25	»
Chlorure de zinc.				
Eau ..... 1000 gr	Zinc ordinaire	Cuivre	0,85	»
Chlorure de zinc.... 110	Zinc amalgamé	»	0,86	»
Sulfate de zinc.				
Eau ..... 1000 gr	Zinc ordinaire	Cuivre	0,998	»
Sulfate de zinc..... 500	Zinc amalgamé	»	1,04	»
Soude à la chaux.				
Eau ..... 1000 gr	Zinc ordinaire	Cuivre	1,06	»
Soude à la chaux... 250	Zinc amalgamé	»	1,09	»

D'après les considérations exposées plus haut, il me semble que la force électromotrice minima d'un couple à un seul électrolyte doit être considérée comme la force électromotrice *vraie* du système; la surélévation de cette force jusqu'au maximum résulterait de l'addition spontanée de produits d'oxydation formés par l'intervention de l'air, produits dont l'action ne devrait pas être confondue avec les énergies chimiques mises en jeu dans le couple proprement dit. Je me permets de signaler cette observation aux physiciens qui cherchent à établir des concordances entre les forces électromotrices des piles et les données de la Thermochimie.

Sur les indices de réfraction des gaz comprimés; par MM. J. Chappuis et C. Rivière.

La variation de l'indice de réfraction des gaz avec la pression n'a été, jusqu'à présent, étudiée que sous des pressions inférieures à 1^{atm}. Les physiciens qui se sont occupés de cette question se sont placés surtout au point de vue de l'Astronomie et leur but a été de fournir les données indispensables au calcul de la réfraction atmosphérique.

Les remarquables travaux d'Andrews sur la liquéfaction de l'acide carbonique ont conduit ce savant expérimentateur à l'observation de phénomènes intéressants qui se produisent dans la masse gazeuse au moment de son changement d'état. Les apparences bien connues qu'il a décrites ne peuvent être dues qu'à des variations de l'indice du gaz. De plus, la disparition du ménisque à la température qu'on a appelée *température critique*, prouve qu'à ce moment il n'y a plus, pour le corps soumis à l'expérience qu'un indice de réfraction, au lieu qu'à des températures inférieures il y a à distinguer l'indice du liquide et l'indice du gaz Ces faits ont paru donner quelque intérêt à une étude des indices sous des pressions élevées.

D'autre part, des théories proposées par d'éminents physiciens relient les indices des gaz à leurs autres propriétés physiques. C'est ainsi qu'on admettait autrefois, avec Biot et Arago, que le

pouvoir réfringent d'un gaz $\frac{n^2-1}{d}$ (n désignant l'indice et d la densité), était constant. Cette loi n'est plus admise aujourd'hui, mais on lui en a substitué d'autres, et l'on a récemment proposé la formule $\frac{n^2-1}{n^2+1}\frac{1}{d} = \text{const.}$ Malheureusement, tant qu'on reste à de basses pressions, n est très voisin de l'unité; on trouve que $n-1$, qui est une quantité très petite, est à peu près proportionnel à d, et l'expérience ne permet pas de décider entre ces diverses formules qui indiquent toutes cette proportionnalité comme première approximation. Des observations à de hautes pressions permettront seules de faire justice de telle ou telle de ces théories.

Les premiers essais ont été tentés par la méthode suivante. Imaginons une lunette pointée sur un objet lumineux, par exemple sur un réticule éclairé. Entre ce réticule et la lunette, interposons une colonne de gaz dont nous désignerons la longueur par e, l'indice par n; on démontre que cela produit un rapprochement apparent $\left(1-\frac{1}{n}\right)$de l'objet; il faudra donc, pour pointer de nouveau le réticule, reculer la lunette de cette quantité; ce déplacement étant mesuré par une vis micrométrique, on pourra en déduire n.

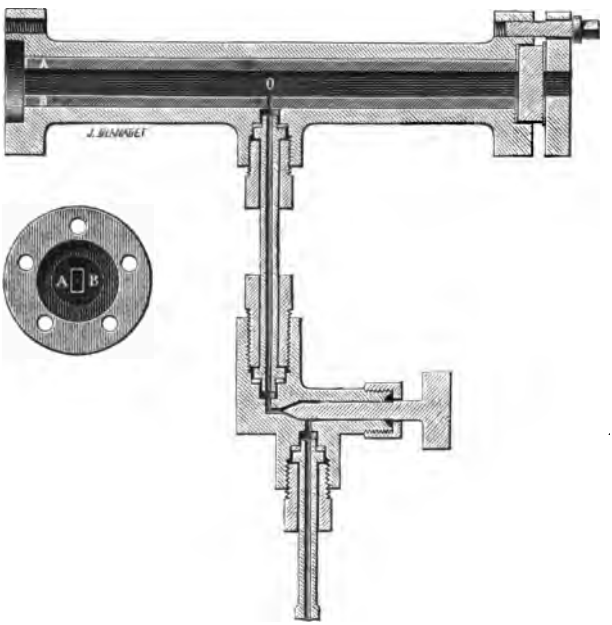
Ce mode de détermination n'a pas présenté une sensibilité suffisante, et l'on a adopté en dernier lieu une méthode fondée sur l'emploi du réfractomètre interférentiel de M. Jamin. Des rayons fournis par une source de lumière monochromatique sont divisés par un premier miroir épais en deux faisceaux parallèles dont l'un traverse une colonne de gaz comprimé. Les deux faisceaux sont ensuite rassemblés par un second miroir et donnent naissance à des franges d'interférence qu'on observe dans une lunette et qui se déplacent dès qu'on change la pression du gaz.

Ce gaz, préparé à l'état de pureté et desséché avec soin, est emmagasiné dans un réservoir cylindrique en fer, fermé à sa partie supérieure par un couvercle solidement boulonné; une lame de platine qui sert de joint assure l'étanchéité de la fermeture. Ce couvercle est traversé par deux tubes flexibles en acier. L'un d'eux, d'une grande longueur, pénètre d'une part jusqu'au fond du réservoir et se termine à son autre extrémité par un tube de verre

de 2^m de hauteur placé le long d'une règle verticale divisée; c'est le tube manométrique. L'autre, qui s'arrête à la partie supérieure du réservoir, met ce dernier en communication avec le tube d'observation qui doit être placé sur le trajet de l'un des faisceaux interférents.

Le tube d'observation est un épais cylindre d'acier dans lequel

Fig. 1.



on a introduit deux coquilles A et B de cuivre rouge, ajustées de façon à y pénétrer à frottement. Ces deux coquilles ont été préalablement rabotées de façon qu'une fois mises en place, elles laissent entre elles un tube rectangulaire dans lequel on peut glisser un tube sans soudure, en platine, qui s'y ajuste exactement. Ce tube a $0^m,20$ de long, $0^m,01$ de haut et $0^m,005$ de large. Il est fermé, à chacune de ses extrémités, par une glace de $0^m,01$ d'épaisseur; cette glace est solidement maintenue contre l'ouverture bien rodée du cylindre d'acier par une plaque d'acier percée d'une ouverture rectangulaire et reliée au cylindre par cinq vis de pression.

Sur le trajet du tube d'acier qui relie le cylindre au réservoir, est placé un robinet à vis qu'on voit sur la figure et qui permet d'intercepter ou de rétablir à volonté la communication entre ces deux parties de l'appareil. Le réservoir est plongé dans un bain d'eau muni d'un thermomètre et le cylindre est entouré d'écrans qui le préservent contre toute variation accidentelle de température. On comprime le gaz renfermé dans l'appareil en versant du mercure par le tube manométrique; on déroule ce dernier et on élève le tube de verre qui le termine à mesure que la pression augmente.

Pour faire une observation, on procède de la façon suivante : après qu'on a établi dans l'appareil la pression qui doit servir de point de départ, et placé le tube de verre à une hauteur telle que le mercure s'y tienne vers la partie inférieure, l'un des observateurs se place à la lunette et la pointe sur une frange noire. L'autre verse peu à peu dans le tube de verre un poids déterminé, par exemple 1^{kg} de mercure; les franges se déplacent et l'on compte le nombre de celles qui passent sous le réticule de la lunette. Quand la nouvelle position d'équilibre est atteinte, le niveau du mercure s'est élevé à la fois dans le tube de verre et dans le réservoir; ces deux parties de l'appareil ont été jaugées et calibrées avec soin; la variation du niveau dans le tube fait connaître le poids de mercure qui y est resté et, par suite, le poids qui a pénétré dans le réservoir et la variation du niveau dans ce dernier. La différence entre les variations des deux niveaux donne la variation de pression, et le déplacement des franges permet de calculer la variation correspondante de l'indice. Si $n_2 - n_1$ désigne cette variation, k le nombre des franges et λ la longueur d'onde de la lumière employée (lumière jaune du sodium), on a

$$(n_2 - n_1)c = k\lambda.$$

Une correction, qu'il est facile de calculer avec la loi de Biot et Arago, peut être nécessitée par la variation de température de l'air ambiant. On réduit de même, en admettant cette loi, toutes les observations à une même température de l'air comprimé.

Les auteurs feront connaître, dans une prochaine Communication, les résultats de leurs recherches.

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1883.

PRÉSIDENCE DE M. JANSSEN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bertrand (A.-L.), capitaine du Génie, attaché au Dépôt des fortifications, à Paris.

Dumartin (Horace), ingénieur civil à Paris.

Gaubert (Jérôme) horloger-électricien à Gruissan (Aude).

M. Sidot, dans une Lettre adressée au Président de la Société, reconnaît que M. Margueritte a pris autrefois un brevet, mais seulement pour la reproduction des pierres précieuses au moyen du verre à acide phosphorique; mais il déclare qu'il n'a pas connaissance que des essais aient jamais été faits par M. Margueritte pour l'application de ce verre aux usages de l'Optique ou de la Chimie.

M. de Romilly rappelle que les propriétés optiques du verre trouvé par M. Margueritte ont été étudiées par Verdet et par Foucault et qu'en 1855 des essais ont été faits sur une grande échelle à l'usine de MM. Maës et Clémandot.

M. Potier, au sujet de la pile de M. Grezel, rappelle à la Société qu'en août 1881 MM. Chapron et Delalande ont pris un brevet pour une pile semblable à celle de M. Grezel. Cette pile, qui se trouve déjà dans le commerce, a été étudiée, en particulier, par Sir W. Thomson, qui en a été très satisfait.

M. Mascart présente à la Société quelques-uns des appareils qui lui servent pour la détermination des éléments magnétiques en valeur absolue :

1° Un théodolite-boussole de Brünner, de dimensions moyennes, qui permet de mesurer à la fois la déclinaison et la composante horizontale;

2° Un théodolite-boussole de Brünner, de dimensions réduites. Cet appareil, qui sert également pour la déclinaison et la composante horizontale, est contenu dans une boîte dont les dimensions extérieures sont inférieures à $0^m,20$. Les cercles gradués, dont le vernier donne directement la minute, ont un diamètre qui n'atteint pas $0^m,09$. Cet appareil a été construit plus spécialement pour les observations en voyage;

3° Une boussole d'inclinaison de Brünner, de même grandeur que le théodolite précédent. Les cercles ont également moins de $0^m,09$ de diamètre, et la longueur de l'aiguille est seulement de $0^m,063$.

Ces petits appareils donnent d'aussi bons résultats que les grands: de

plus, les barreaux étant relativement courts, leurs oscillations sont rapides, et la durée totale de l'observation est considérablement réduite; c'est ainsi que la mesure de la déclinaison ne demande pas plus de dix à quinze minutes, et qu'en trente minutes au plus on fait toutes les opérations que comporte une mesure complète de l'inclinaison;

4° Une boussole magnétique d'induction, qui permet de déterminer l'inclinaison en cherchant la direction autour de laquelle on peut faire tourner une bobine sans que l'action de la Terre produise aucun courant induit.

Cet appareil paraît donner des résultats au moins aussi précis que les boussoles ordinaires d'inclinaison.

A cette occasion, M. Mascart examine la disposition employée habituellement pour déterminer la composante horizontale par la méthode de Gauss et discute le degré de précision que comportent les observations.

M. Javal expose, en quelques mots, les principes de la ventilation et du chauffage des lieux habités. M. Javal critique l'extraction de l'air vicié par le bas de la salle et l'introduction de l'air pur par le haut. L'air vicié qui sort du poumon, ayant une température voisine de 35°, monte, et par conséquent c'est vers le haut de la pièce qu'il faut placer les gaines d'extraction. L'air pur doit être introduit par le bas à une température modérée, 16° à 18°, pour qu'il ne s'élève pas trop vite dans l'atmosphère de la salle.

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1883.

PRÉSIDENCE DE M. JANSSEN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 décembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine.
Mercier, Préparateur des travaux pratiques de Physique, à la Faculté de Médecine.

M. Blavier rend compte des expériences qu'il a faites à l'École supérieure de Télégraphie pour l'étude des courants telluriques au moyen d'un appareil enregistreur semblable à celui dont se sert M. Mascart pour l'enregistrement photographique des trois composantes du magnétisme terrestre.

Les appareils magnétiques sont remplacés par des galvanomètres apériodiques de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval, formés d'un cadre mobile entre les deux pôles d'un fort aimant. Les oscillations de ce cadre sont à peu près nulles lorsqu'on réunit les bornes auxquelles aboutit le fil qui l'entoure par une dérivation (*shunt*) de faible résistance, égale, suivant

les cas, à $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{40}$ de celle du fil du cadre. Un petit miroir est collé sur le fil de suspension et renvoie sur l'appareil enregistreur l'image d'une faible lumière, produite par une lampe au gazogène. Trois galvanomètres pareils, convenablement placés, servent à l'étude simultanée des courants telluriques sur trois lignes différentes. On prend chaque matin la constante des galvanomètres au moyen d'un élément Daniell et d'un circuit de 20 000 ohms de résistance.

Pour obtenir des résultats comparables, on a adopté pour la résistance totale des circuits le chiffre de 10000 ohms, qu'on réalise en complétant la résistance des lignes par des rhéostats.

Les lignes qui ont été soumises jusqu'ici aux expériences sont celles de Paris à Nancy, Lyon, Lille et le Havre. Elles ont conduit aux résultats suivants :

Deux fils de Paris à Nancy, l'un souterrain passant par Reims, et l'autre aérien passant par Châlons, ont constamment fourni des courbes absolument identiques; les courants telluriques dépendent donc uniquement de la position des points extrêmes. Les courbes que donnent les courants de la ligne de Paris à Nancy sont les mêmes que celles de la ligne de Paris à Bar-le-Duc et de Paris à Châlons, et accusent seulement une différence dans l'intensité, qui est proportionnelle à la longueur de la ligne. Le résultat est encore le même lorsque l'on compare une longue ligne, de Paris à Châlons, et une ligne très courte de 8^{km} de longueur, du poste central de Paris au bastion de la porte de Flandres, à part quelques légers changements dans la forme des courbes, tenant à ce que les deux lignes n'ont pas exactement la même direction. Pour cette dernière expérience, il a fallu réduire à 1000 ohms la résistance totale.

Sur deux lignes qui ont leur direction contraire par rapport à Paris, telles que Paris-Lille et Paris-Lyon ou Dijon, on trouve toujours à chaque instant des courants dont la direction est contraire par rapport au point d'observation, et qui, par conséquent, ont le même sens sur les lignes : ces courants suivent les mêmes phases.

Pour les lignes orientées du nord au sud, les courants telluriques ont chaque matin, de 8^h à midi, une direction constante et atteignent leur maximum vers $10^h 30^m$.

La grandeur de la force électromotrice atteint à certains moments, sur une ligne de 350^{km}, une valeur de 2 à 3 volts, qui est considérablement dépassée pendant les orages magnétiques.

Quant à la véritable direction des courants terrestres, elle se détermine facilement à chaque instant en prenant sur deux lignes différentes deux points qui ont le même potentiel, en traçant par ces points une ligne droite, qui représente la courbe équipotentielle, et en menant une normale à cette ligne.

Étude des courants telluriques; par M. E.-E. Blavier.

Le Congrès des électriciens, qui s'est tenu à Paris pendant l'Exposition internationale d'électricité de 1881, a appelé l'attention sur l'intérêt que peut offrir l'observation des courants électriques qui parcourent la surface de la terre et a renvoyé l'étude de cette question à la Conférence internationale pour la détermination des unités électriques, qui s'est réunie à Paris le 26 octobre 1882. Dans cette Conférence on a émis les vœux :

« 1° Que certaines lignes, même de petite longueur, indépendantes du service télégraphique général dans chaque pays, soient consacrées, d'une manière exclusive, à l'étude des courants terrestres;

» 2° Que les grandes lignes, particulièrement les lignes souterraines, soient utilisées le plus fréquemment possible pour des recherches de même nature, ces lignes étant dirigées de préférence du sud au nord et de l'est à l'ouest, les observations ayant lieu le même jour, par exemple le dimanche, dans les différents pays. »

Les courants telluriques n'ont pu jusqu'ici être étudiés d'une manière continue, par suite de l'impossibilité d'utiliser pour cet objet les fils télégraphiques, qui suffisent à peine au trafic. A la suite des grandes perturbations magnétiques seulement, on a pu, en relevant les observations faites par les employés dans les bureaux télégraphiques, dresser des Tableaux ou des courbes qui donnent une idée approximative de la direction et de l'intensité de ces courants à différents instants.

En France, par suite de la construction récente d'un certain nombre de lignes souterraines, plusieurs fils conducteurs se sont trouvés provisoirement disponibles; j'en ai profité pour demander à M. le Ministre des Postes et des Télégraphes l'autorisation de les utiliser pour l'étude et l'enregistrement automatique des courants terrestres. Cette autorisation m'ayant été accordée, j'ai fait construire, par M. Jules Duboscq, un appareil enregistreur semblable à celui qu'emploie M. Mascart, à Saint-Maur, pour l'enregistrement simultané des trois composantes du magnétisme terrestre.

Cet appareil comprend une horloge qui fait descendre d'un mouvement uniforme, pendant vingt-quatre heures, un cadre sur lequel est fixée une feuille de papier préparé au gélatinobromure d'argent, de $0^m,26$ de hauteur sur $0^m,21$ de largeur. Cette feuille passe devant une fente étroite que traversent les rayons lumineux réfléchis par l'instrument dont on veut enregistrer les indications.

L'image est ensuite développée et fixée par une immersion de la feuille dans un bain d'oxalate de potasse et de sulfate de fer, puis dans un bain d'hyposulfite de soude.

Une lampe alimentée au gazogène est placée au-dessus de la fente et fournit la lumière; elle est entourée d'une enveloppe métallique ayant trois ouvertures munies de lentilles, dont l'une envoie les rayons lumineux normalement et les deux autres parallèlement à la surface du papier préparé.

Les rayons sont réfléchis par de petits miroirs fixés à la partie mobile des instruments d'observation et renvoyés sur la fente, directement pour l'un d'eux, et par l'intermédiaire de deux prismes pour les deux autres.

Sur la feuille de papier se trouvent marquées automatiquement, au milieu, sur une largeur de $0^m,07$, les courbes qui correspondent à l'instrument placé en face, et, de chaque côté, sur une largeur égale, les courbes qui correspondent aux deux autres, convenablement placés.

Les galvanomètres dont je me suis servi pour l'enregistrement des courants telluriques sont des galvanomètres apériodiques de MM. Marcel Deprez et d'Arsonval. Chacun d'eux comprend un aimant fixe entre les branches duquel se meut un petit cadre; autour de ce dernier est enroulé le fil conducteur qui forme environ 50 tours. Ce cadre est maintenu par deux fils d'argent verticaux, fixés l'un à la partie supérieure et l'autre à la partie inférieure, qui lui permettent d'osciller. Un petit miroir, qui renvoie la lumière sur la fente de l'enregistreur, est collé sur le fil supérieur.

Les oscillations du cadre au moment des variations d'intensité du courant sont à peu près nulles, par suite de l'effet d'induction qui se produit dans le conducteur lorsque les bornes sont réunies

par un fil de dérivation offrant une faible résistance, avantage précieux pour le genre d'expériences que j'avais à faire.

Les heures sont marquées photographiquement sur les marges de la feuille de papier. A cet effet, cette feuille est maintenue entre deux glaces de verre dont l'une, transparente, est exposée aux rayons lumineux réfléchis par les miroirs, tandis que l'autre, noircie, porte sur le bord des découpures également espacées, correspondant aux vingt-quatre heures de la journée. Il suffit de présenter pendant un instant cette dernière glace à la lumière, pendant que l'épreuve photographique se trouve encore au-dessous, pour que les découpures se reproduisent sur le papier, et de noter l'heure du commencement du mouvement.

Ce qu'il importait de mesurer, c'était non l'intensité du courant tellurique, qui varie suivant la résistance du circuit, mais la force électromotrice existant à chaque instant entre les deux points du sol en relation avec le fil télégraphique. Dans ce but, j'ai rendu, dans toutes les expériences, la résistance totale du circuit constante par l'addition de bobines et de rhéostats convenablement choisis. Cette résistance constante a été fixée à 10 000 ohms (1000^{km} de fil de fer à 4^{mm}), résistance considérable qui a l'avantage d'éliminer les effets secondaires, induction et dérivation des fils voisins, variation de la température, effet de l'électricité atmosphérique, polarisation, etc.

Il était, en outre, nécessaire de déterminer fréquemment la constante des galvanomètres, qui pouvait changer par suite des variations de tension du fil qui supporte les cadres.

Chaque matin on prend cette constante en remplaçant pendant un instant le circuit soumis à l'expérience par un circuit local, toujours le même, de 20 000 ohms de résistance et comprenant 1 élément Daniell.

Un premier trait donné sur le papier par le galvanomètre correspond au cas où aucun courant ne passe; un second correspond au cas où le courant d'essai est envoyé dans un sens, et un troisième au cas où ce courant est envoyé en sens opposé.

L'intensité du courant qui produit les deux dernières marques est d'environ $\frac{1^{volt}}{20\,000^{ohms}}$, soit $\frac{1}{20\,000}$ d'ampère.

Une ligne droite, parallèle au mouvement du papier, menée par le point qui correspond à l'absence de tout courant, peut servir d'axe. Les résistances du circuit d'essai et du circuit soumis aux expériences étant dans le rapport de 2 à 1, la force électromotrice du courant tellurique, à chaque moment, est donnée en volts par le rapport entre le double de l'ordonnée correspondante de la courbe et l'ordonnée du point marqué par le courant d'essai.

Quant aux fils de dérivation (ou shunts) employés pour les galvanomètres, leur résistance varie, suivant la longueur des lignes soumises aux expériences, de $\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{5}$ de la résistance du fil enroulé sur le cadre. On règle cette résistance de façon que les courbes ne dépassent pas, autant que possible, les limites de la portion de la feuille qui est consacrée à l'enregistrement.

La constante de chaque instrument étant prise avec son shunt, on n'a pas à se préoccuper de la résistance de ce dernier pour l'interprétation des courbes.

Les expériences ont commencé à la fin du mois de juillet dernier et durent encore; elles n'ont subi que quelques interruptions partielles, dues à la nécessité où nous nous sommes quelquefois trouvés de rendre au service les fils qui avaient été mis à notre disposition.

J'ai été secondé dans cette étude par M. Henry Terral, agent spécial attaché à l'École supérieure de Télégraphie, qui est parvenu promptement à obtenir des épreuves très nettes et a eu l'idée de les reproduire par les procédés photographiques ordinaires.

Les lignes qui ont été soumises jusqu'ici aux expériences sont celles de Paris à Nancy, Lille, Lyon, le Havre, et celles du poste central de Paris (103, rue de Grenelle) aux guérites de coupures des fils, à la porte de Flandres et à la porte de Vincennes. Je vais indiquer les principaux résultats obtenus jusqu'à ce jour.

Un des faits importants qui ressortent de la comparaison des courbes est que la direction et l'intensité des courants telluriques dépendent uniquement de la différence de potentiel entre les deux points où le fil conducteur est en communication avec la terre et sont indépendantes de son trajet. Ainsi, de Paris à Nancy, deux

fils, l'un aérien, passant par Châlons, et l'autre souterrain, passant par Reims, fournissent toujours des courbes absolument identiques.

On peut en conclure, contrairement à une opinion généralement admise, que les lignes souterraines ne sont pas plus influencées que les lignes aériennes par les courants terrestres. Si ces courants troublent un peu plus la transmission sur les lignes souterraines, cela tient à ce que leurs conducteurs en cuivre offrent moins de résistanc eet à ce qu'on emploie pour les desservir des piles plus faibles et des appareils plus sensibles.

Non seulement les courants telluriques sont identiques sur deux fils qui aboutissent aux deux mêmes points, mais encore ils sont très sensiblement les mêmes sur deux fils de même longueur qui ont à peu près la même direction, de Paris à Reims et de Paris à Châlons par exemple.

Pour deux lignes de longueurs différentes, mais qui ont la même direction, par exemple de Paris à Nancy et de Paris à Châlons, les courants qui parcourent les fils suivent exactement les mêmes phases, mais leur intensité est en raison de la distance des points extrêmes, la résistance totale étant, bien entendu, la même dans les deux cas.

En augmentant la résistance de la dérivation entre les bornes du galvanomètre en relation avec le fil le plus court, en la doublant par exemple, pour le galvanomètre du fil de Paris à Châlons, on retrouve identiquement les mêmes courbes que pour le fil le plus long, Paris-Nancy.

Le résultat est le même lorsqu'on compare les courbes que donnent deux grandes lignes situées des deux côtés de Paris et sur le prolongement l'une de l'autre, telles que les lignes Paris-Lille et Paris-Lyon. Mais les courants sur la ligne de Paris-Lyon sont naturellement plus intenses et indiquent toujours une différence de potentiels proportionnelle à la distance des points extrêmes.

Cette loi se vérifie même lorsqu'on compare une grande ligne, comme celle de Paris à Châlons, avec une ligne très courte, de 8^{km} à 10^{km} de longueur, allant du poste central de Paris (103, rue de Grenelle) à la caserne située près de la porte de Flandres, ou à la guérite télégraphique qui se trouve à la porte de Vincennes.

En conservant, pour l'observation des courants sur ces deux dernières lignes, la résistance totale de 10000 ohms, on n'obtient que des variations insignifiantes d'intensité; mais, en réduisant cette résistance à 1000 ohms, on retrouve les mêmes variations que sur la ligne de Paris à Châlons, avec une légère différence toutefois pour la ligne de la porte de Flandres, tenant à ce que sa direction n'est pas absolument la même que celle de Paris à Châlons.

Lorsque la résistance totale est réduite à 1000 ohms, on constate une légère force électromotrice, due à la différence d'action chimique des plaques de terre, qui a pour résultat de déplacer les courbes par rapport à l'axe correspondant à l'absence de tout courant; mais ce déplacement ne gêne en rien l'observation; il suffit, en effet, d'orienter convenablement le miroir supporté par le fil de suspension pour que les traces laissées par la lumière se trouvent dans l'espace consacré à l'enregistrement.

Il paraît donc probable qu'on pourra arriver à étudier complètement les variations du courant tellurique au moyen d'un certain nombre de fils de faible longueur rayonnant d'un point central.

J'ai voulu m'assurer que les courbes du courant tellurique ne sont pas troublées par l'effet des transmissions télégraphiques du poste central, dont nous empruntons le fil de terre. Dans ce but, nous avons pris d'abord une seconde communication avec le sol, située à une trentaine de mètres de celle qui sert aux transmissions, et nous avons employé un des deux fils de terre pour un des conducteurs de Paris à Nancy et le second pour l'autre conducteur; les courbes ont été identiques. Nous avons ensuite pris la terre à Viroflay pour un des conducteurs et à la station centrale pour l'autre; nous avons obtenu les mêmes résultats. Enfin, nous avons comparé un fil de Paris à Nancy avec un fil allant de Châlons-sur-Marne à Viroflay; nous avons encore eu les mêmes courbes, modifiées seulement par la variation de distance des points extrêmes.

En réglant convenablement les shunts des galvanomètres, on peut, presque toujours, obtenir avec des fils qui ont une même direction, mais des longueurs différentes, des courbes qui peuvent se superposer.

Les courants telluriques varient constamment de sens et d'intensité; parfois, au milieu d'une période relativement assez calme, on observe un courant qui s'accroît rapidement pendant une heure ou deux, puis décroît et change de sens. La force électromotrice sur une ligne de 350^{km}, comme celle de Paris à Nancy, atteint souvent 2, 3 et 4 volts.

Pendant les orages magnétiques, et il s'en est manifesté plusieurs pendant la durée de nos expériences, la force électromotrice atteint des valeurs beaucoup plus considérables et change rapidement de sens. L'image du point lumineux, réfléchie par le miroir du cadre, sort à chaque instant de l'espace consacré à l'enregistrement.

Pour deux lignes qui sont situées dans le prolongement l'une de l'autre, les courbes sont semblables, mais de sens opposé naturellement. On constate seulement quelques différences lorsque les lignes sont très longues, comme celles de Paris à Lille et de Paris à Dijon ou à Lyon, et encore ces différences peuvent-elles tenir à ce que les lignes n'ont pas absolument la même direction.

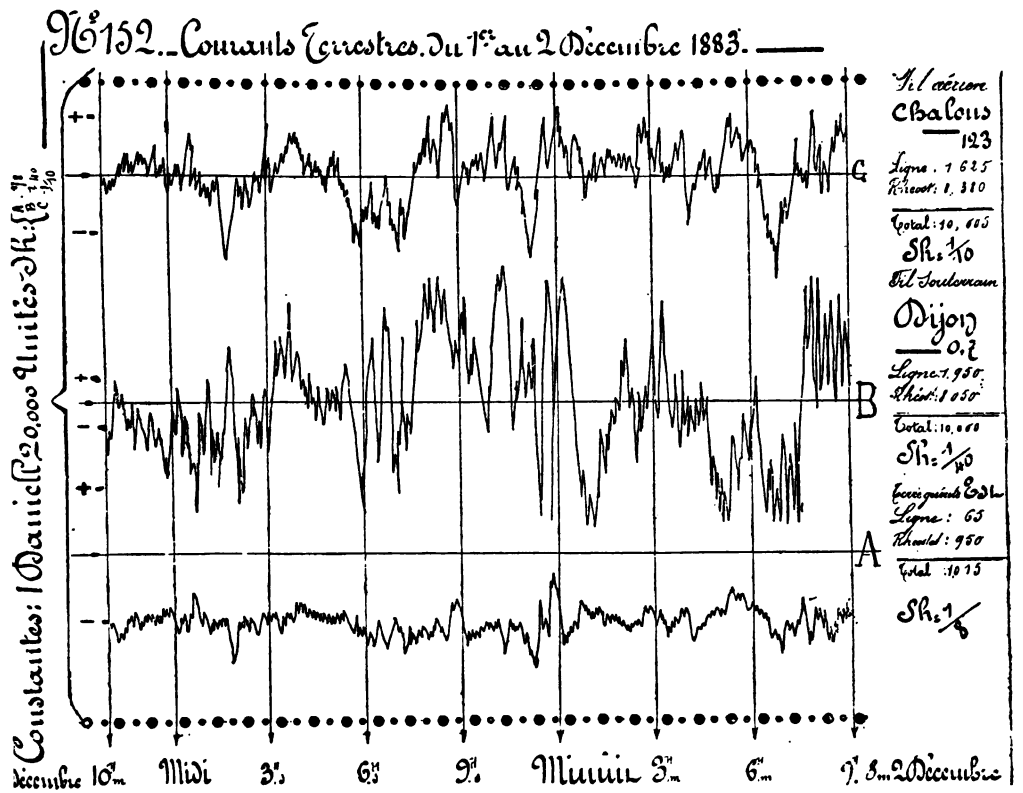
On peut déduire des courbes obtenues sur deux lignes ayant des directions différentes, comme celle de Paris à Nancy et celle de Paris à Dijon, la véritable direction du courant tellurique à chaque instant. En effet, la différence de potentiel étant proportionnelle à la distance des points extrêmes sur une même ligne droite, on peut facilement trouver sur les deux lignes deux points dont le potentiel est le même; la droite qui passe par ces deux points est une courbe équipotentielle, et la normale à cette ligne représente la direction du courant tellurique.

Les courants circulent généralement dans la direction du nord-ouest au sud-est, et réciproquement; mais souvent leur direction change, et ils vont quelquefois du nord au sud, du nord-est au sud-ouest, de l'est à l'ouest et réciproquement.

Il est encore impossible de donner la loi générale de ces courants, si tant est qu'on puisse y parvenir. Toutefois il résulte, de la comparaison des courbes obtenues pendant plusieurs mois, qu'en France, tous les matins de 9^h à midi, le courant marche du nord

au sud ou plutôt du nord-nord-est au sud-sud-ouest et atteint son maximum d'intensité vers $10^h 30^m$.

Les courants telluriques ont évidemment une liaison intime avec les variations du magnétisme de la Terre. Ils en peuvent être la cause principale ou l'effet; cette question ne pourra être résolue que par une comparaison des courbes électriques et des courbes magnétiques. L'étude attentive des premières permettra également



de décider si les mouvements du Soleil et de la Lune ont une influence inductrice, comme le pensent quelques savants.

La figure ci-jointe est la reproduction par la photogravure des courbes obtenues pendant une journée assez agitée (du 1er décembre 10^h du matin au 2 décembre $9^h 8^m$ du matin). A gauche sont marqués les traits qui donnent les courants des trois galvano-

mètres et correspondent, ainsi qu'il a été dit plus haut, à $\frac{1}{20000}$ d'ampère.

Les courbes C et B sont fournies par les lignes de Paris à Châlons et de Paris à Dijon (fils 123 et 07).

La résistance totale est de 10015 ohms pour le premier circuit et de 10000 ohms pour le second; les shunts des deux galvanomètres sont $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{40}$.

La troisième courbe, A, est fournie par une ligne de 9^{km} à 10^{km} allant du poste central de Paris à la guérite de l'est (porte de Flandres). La résistance totale du circuit est seulement de 1015 ohms, et le shunt du galvanomètre de $\frac{1}{40}$.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1882 ET 1883 (1).

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (t. XCIV à XCVII, 1882-1883), in-4°.

Annales de Chimie et de Physique (5e série, t. XXV à XXIX, 1882-1883), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1882), in-4°.

Revue des Travaux scientifiques, publiée par le Ministère de l'Instruction publique, t. II, année 1882.

Annales télégraphiques (3e série, 1882-1883), in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, t. V (1882, et nos 1 à 4 de 1883), in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1882-1883), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1882-1883), in-8°.

L'Électricien (t. III, 1832; t. IV et V, 1883; t. VI, 1883, nos 54 à 65).

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1882), in-18.

La lumière électrique (année 1882, nos 16 à 19 et 22 à 25).

Bulletin de la Compagnie internationale des téléphones, année 1883.

L'Aéronaute (années 1882-1883), in-8°.

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1880 à 1882), in-4°.

Proceedings of the Royal Society (t. XXXII, nos 214 à 219, t. XXXIII, 221 à 226), in-8°.

Philosophical Magazine (t. XIII à XVI, 1882-1883), in-8°.

(1) On trouvera, à la fin du Bulletin de 1881, la liste complète des Ouvrage reçus par la Société depuis son origine jusqu'au 1er janvier 1882.

Annalen der Physik und Chemie (nouvelle série, t. XV à XX, 1882-1883), in-8°.

Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, 2e série, vol. XVIII, nos 87-88, 1882.

Bulletin de la Société Physico-Chimique de Saint-Pétersbourg (année 1882), in-8°.

Journal de l'École polytechnique impérial russe.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians (vol. X, nos 46 à 49 du t. XII), in-8°.

Elektrotechnische Zeitschrift, t. IV, 1883.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, t. VII, 1883.

The American Journal of Science, vol. XXV et XXVI, 1883.

The Physical Society of London (Proceedings, t. IV, nov. à déc. 1881; t. V, janv. à sept. 1882), in-8°.

The scientific Proceedings of the royal Dublin Society (vol. I, nouv. série, novembre 1880, 7e Part.; vol. II, nouv. série, janvier-octobre 1881, 1re et 4e Part.).

The scientific Transactions of the royal Dublin Society (vol. I, 2e série, novembre 1880; vol. I, 2e série, avril 1881).

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales (vol. XIV et XV, 1880-1881).

New south wales in 1881 being a brief statistical and descriptive account of the colony up to the end of the year, extracted chiefly from official Records.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (vol. XXI, 1882), in-4°.

Fortschritte der Physik, 1845.

Die Mechanik in ihrer Entwickelung, historisch-kritisch dargestellt; par M. *E. Masch*, 1 vol. in-8°.

Cours de Mécanique analytique : I. Mécanique d'un point matériel — II. Mécanique des systèmes des points matériels (en russe); par M. *D. Bobyleff*, 2 vol. in-8°.

Cours de Physique : I. Physique moléculaire; par M. *Violle*, 1 vol. in-8°.

Cours de Physique à l'usage des élèves des classes de Mathématiques spéciales; par M. *H. Pellat*.

Tome I, Ire Partie : Travail des forces, énergie. — Mesures absolues. — Pesanteur, hydrostatique. — Pneumatique, hydrodynamique. — IIe Partie : Thermomètre, dilatations, changements d'état, densités des gaz, hygrométrie, calorimétrie. — Thermodynamique; 2 vol. in-8°

Cours de manipulations de Physique préparatoire à la licence; par M. *A. Witz*. 1 vol. in-8°.

The size of Atoms; par Sir *T.-W.* Thomson, br. in-8°.

Note adressée à M. le Président de la République pour le prier de rapporter un décret qu'il vient de signer pour l'organisation d'un laboratoire avec les fonds appartenant aux exposants de l'Électricité; par M. *Delaurier*, br. in-8°.

Essai d'une théorie générale supérieure de Philosophie naturelle et de Thermochimie, avec une nouvelle nomenclature binaire notative pour la Chimie minérale et organique; par M. *Delaurier*, 3 fascicules in-4°.

Nouvelles œuvres politiques et scientifiques; par M. *E. Delaurier*, in-4°.

Commission géologique et d'Histoire naturelle du Canada; Rapport des opérations de 1879-1880, 1 vol. in-8°.

Recherches historiques sur les étalons de poids et mesures de l'Observatoire; par M. *Wolf*, br. in-8°.

Rapport de M. Melsens sur les recherches expérimentales sur la relation qui existe entre la résistance de l'air et sa température; par M. *G.-A. Hirn*, br. in-4°.

La riforma gregoriana del calendario; par M. *P. Gaspare Stanislao Ferrari*, br. in-4°.

Notice sur la collection de l'Ecole normale des Côtes-du-Nord; par M. *E. Bontemps*.

Recherches expérimentales sur le passage des liquides à travers les substances perméables et les couches filtrantes; par M. *S. Brunhes*, br. in-8°.

Capillarité; par M. *Terquem*, br. in-8°.

Sur les moyens proposés pour calmer es vagues de la mer; par M. *Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Petite expérience de capillarité. — Théorie des attractions ou répulsions apparentes des corps légers flottants; par M. *Van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Effets des variations de la pression extérieure sur l'organisme; par M. *A. Guébhard* (thèse in-4°).

Ueber die Verflüssigung des Sauerstoffs und Kohlenoxyds; par MM. *S.-V. Wroblewski* et *Karl Olszewski*, br. in-8°.

Étude relative aux variations de la température de l'air, des eaux de la Garonne et des eaux filtrées à Toulouse pendant une année (1er juillet 1874 au 30 juin 1875).

Dell'azione che la temperatura esercita sulla velocità del suono nell'aria, et del valore di questa velocità, secondo le esperienze fatte a Bologna da Gian-Bianconi, nel 1740; par M. *G. Govi*, br. in-4°.

Sur une nouvelle flamme sensible; par M. *V. Neyreneuf*, br. in-8°.

Phénomènes physiques de la phonation; par M. Bergonie (thèse in-8°).

Nouvelles observations sur les effets de la foudre sur des arbres placés près d'un fil télégraphique; par M. *Ch. Montigny*, br. in-8°.

Sur l'électrolyse de l'eau distillée; par M. *D. Tommasi*, br. in-4°.

Appareil différentiel pour le dosage de l'ozone dans l'air; par M. *D. Tommasi*, br. in-4°.

Unités et constantes physiques; par M. *J.-L. Everett*, F. R. S., traduit de l'anglais par M. J. Raynaud.

Formulaire pratique de l'*Electricien* (1re année, 1883); par M. *E. Hospitalier*, 1 vol. in-8°.

Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à base circulaire; par M. *Blavier*, br. in-8°.

Sur les méthodes employées jusqu'à ce jour pour la détermination de l'ohm; par M. *G. Wiedemann*, br. in-8°.

L'électricité résiduelle et autres phénomènes physiques; par M. *N. Hesehus*, br. in-8° (en russe).

Sur la figuration électrochimique des lignes équipotentielles; par M. *A. Guébhard*, br. in-4°.

Sur la théorie des figures équipotentielles obtenues par la méthode électrochimique; par M. *A. Guébhard*, br. in-4°.

Sur la généralité de la méthode électrochimique pour la figuration des lignes équipotentielles; par M. *A. Guébhard*, br. in-4°.

Sur une certaine classe de figures équipotentielles et sur les imitations hydrauliques de M. Decharme; par M. *A. Guébhard*, br. in-4°.

Conférence sur les paratonnerres; par M. *Melsens*.

Sul riscaldamento dei corpi isolanti solidi e liquidi in causa di successive polarizzazioni elettrostatiche; par MM. *Naccari* et *M. Bellati*, br. in-8°.

Ueber Herrn A. Guebhard's Darstellung der Equipotential-Curven; par M. *E. Mach*, br. in-8°.

Versuche und Bemerkungen über das Blitzableitersystem des Herrn Melsens; par M. *E. Mach*, br. in-8°.

Ueber Umbildung und Anpassung im naturwissenschaftlichen Denken; par M. *E. Mach*, br. in-8°.

Accumulateurs électriques à lames gaufrées; par M. *de Kabath*, br. in-8°.

Accumulateurs d'électricité. — Affaire Faure-Somzée. — Question de priorité, br. in-8°.

La traction électrique par accumulateurs appliquée aux tramcars de Paris; par M. *E. Reynier*, br. in-8°.

L'électricité en médecine; par M. le Dr *Tripier*.

Methode und Apparat zur Bestimmung geringer Dampfspannungen; par M. *J. Moser*, br. in-8°.

Les Téléphones; par M. *A. Ternant*, br. in-8°.

The microphonic action of selenium cells; par M. *J. Moser*, br. in-8°.

Elektrostatische Untersuchungen, insbesondere über die Verzweigung der Induction beim Differential-Inductometer und Electrophor; par M. *J. Moser*, br. in-8°.

Der Kreisprocess erzeugt durch den Reactionsstrom der electrolytischen Ueberführung und durch Verdampfung und Condensation; par M. *J. Moser*, br. in-8°.

Ueber die stationäre elektrische Strömung in einer unendlichen Ebene und einer Kugeloberfläche; par M. *Carl Hildebrandt*.

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doctorwürde der hohen philosophischen Facultät der George-August Universitat zu Göttingen; par M. *Carl Hildebrandt*.

Intorno all' influenza della magnetizzazione sulla conductibilità ellettrica del ferro in direzione assiale ed equatoriale, par M. *G. de Lucchi*, br. in-4°.

Une application des images accidentelles (2e Note); par M. *J. Plateau*, br. in-8°.

Sur la condition d'achromatisme dans les phénomènes d'interférence; par M. *A. Cornu*, br. in-4°.

Sur les raies telluriques qu'on observe dans le spectre solaire au voisinage des raies D; par M. *Cornu*, br. in-4°.

Note sur la photographie de la comète *b* 1881 obtenue à l'Observatoire de Meudon; par M. *J. Janssen*.

Relation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje; par MM. *Macé de Lépinay* et *W. Nicati*, br. in-8°.

Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre; par MM. *Macé de Lépinay* et *Nicati*, br. in-8°.

On a Wedge-and-Diaphragm Photometer; par M. *Robert Sabine*, br. in-8°.

Une petite illusion d'optique, par M. *J. Plateau*, br. in-8°.

Intorno allo scopritore di una singolare illusione ottica; par M. *G. Govi*, br. in-4°.

Modo per ottenere la sensazione del bianco colla rotazione di uno spettro circolare; par M. *G. Govi*, br. in-4°.

Sur le phénomène de l'ozone. — Sur le spectre d'absorption de l'acide pernitrique; par M. *J. Chappuis*, br. in-4°.

Sur les sensations que l'auteur éprouve dans les yeux; par M. *J. Plateau*, br. in-8°.

Les configurations de la grande comète de 1882 *a* prédites d'après la théorie des ondes cosmiques; par M. *Schwedoff*.

Untersuchungen über Schmieröle; par M. *S. Lamansky*, br. in-8°.

Rapport de M. A. Crova sur les expériences faites à Montpellier pendant l'année 1881 par la Commission des appareils solaires, br. in-4°.

Die Spectren der chemischen Verbindungen; par M. *J. Moser*, br. in-8°.

Études sur les orages de grêle dans le canton de Vaud; par M. *H. Dufour*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Braïla pendant les années 1879 à 1880; par MM. *Stefan* et *C. Hepitès*, br. in-4°.

N. B. — Tous les Ouvrages de la Bibliothèque sont à la disposition de MM. les Membres de la Société. Les Membres habitant la province auront à payer les frais de poste pour les Ouvrages qui leur seront envoyés en communication.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

AVRIL 1884.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1884.)

BUREAU.

MM. POTIER, *Président.*
MAREY, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
FOUSSEREAU, *Secrétaire.*
BECQUEREL (Henri), *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. CARPENTIER.	1882.	MM. CROVA (Montpellier),	1882.
FERNET.		MACH (Prague).	
GOULIER.		PÉRARD (Liège).	
POLLARD.		TERQUEM (Lille).	
COULIER.	1883.	EGOROFF (Varsovie).	1883
LIPPMANN		VAN DER MENSBRUGGHE (Gand).	
RAYNAUD		THOLLON (Nice).	
DE ROMILLY		XAMBEU (Saintes).	
DUFET.	1884.	BLONDLOT (Nancy).	1884.
MERCADIER.		CAILLETET (Châtillon-s.-Seine).	
VIOLLE.		DUFOUR (Lausanne).	
WOLF.		TACCHINI (Rome).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **BROCH** (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania.
FIZEAU (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
JOULE (**J.-P.**), de Manchester.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir WILLIAM THOMSON, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut.
JAMIN (**J.**), Membre de l'Institut.
EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
BELL (**Alex.-Graham**), de Boston.

MEMBRES A VIE (2).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.
BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
MASCART, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
* NIAUDET, Ingénieur civil.
SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

---

(1) STATUTS, Art. IV — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. * Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.
Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue Claude-Bernard.
Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Inspecteur primaire à Muret.
Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude-Bernard.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
Brion, Professeur en retraite, rue du 14 Juillet prolongée, à Jurançon, par Pau.
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 29, Regency Street, Westminster S. W. Londres.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
Blondlot, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
Guébhard, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine de Paris, 15, rue Soufflot.
Raffard, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.
Bordet (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.
Lippmann, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.
* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.
D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.
Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.
Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 20, avenue de l'Observatoire.

MM. Javal, Directeur du laboratoire d'Ophthalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

Grosseteste (William), Ingénieur, E. C. P., 47, Sinne, Mulhouse.

Potier, Ingénieur des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes, 12, rue Portalès.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

Thollon, à l'Observatoire de Nice.

Gariel (C.-M.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.

Rivière, Préparateur agrégé à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Joubert, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

Cabanellas, Ingénieur, 1, rue Andrieux.

* Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Pellat, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.

Dufet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 43, avenue de l'Observatoire.

Raynaud, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 9, rue Taylor.

Poincaré, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Van den Kerchove, Sénateur à Gand (Belgique).

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 20, rue Delambre.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

Brillouin, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Préparateur au Collège de France, 21, rue Jacob.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Professeur à l'Institut agnonomique, 15, rue Malebranche.

Kœchlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, 1, rue Bourbon-le-Château.

Vaschy, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 36, rue du Dragon.

Palmade, Professeur au lycée Henri IV, 70, rue Monge.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 212, boulevard d'Enfer.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

Bandsept, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, Courbevoie (Seine).

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

ABOILARD (Louis), Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

ALEXANDRE (Henri), Ingén. des Arts et Manufactures, 7, boulevard Morland.

ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central à Marseille.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALONCLE (Félix), Pharmacien, 57, rue de Turbigo.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARSONVAL (d'), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France.

AUBRY (Félix), Principal du Collège de Blaye.

AUBRY, Directeur Ingénieur des télégraphes, à Limoges.

AUGUEZ (Émile), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Répétiteur à l'École d'Agriculture de Grignon.

BAGNERIS (Eugène), Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 9, rue Saint-Nicolas, à Nancy.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Grenoble.

BANDSEPT, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

MM.

BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Marseille.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Fromentin.

BARBIER (**Paul**), 19, avenue de l'Opéra.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (**Maurice de**), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARTHÉLEMY, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BATCHELOR (**Charles**), Administrateur de la Compagnie Edison, 33, avenue de l'Opéra.

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

BÉCLARD, Doyen de la Faculté de Médecine de Paris.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées; Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée, 31, rue Sainte-Lucie, à Carcassonne.

BELL (**Alexander-Graham**), 95, Milk Street, Boston, Mass. U. S. A.

BELLOC, Ingénieur, 136, avenue Daumesnil.

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), Manufacturier, 44, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine.

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), ancien Commissaire général de l'Exposition internationale d'Électricité, 8, rue Legendre.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ, Agrégé, Maître de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 29, rue de Persac, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERSON, Professeur au Lycée Charlemagne, 32, rue Monge.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (**Édouard**), à Neuve-Chapelle, par Laventie (Pas-de-Calais).

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège, 26, quai Baluze, à Tulle.

BERTIN, Maître de conférences et Sous-Directeur de l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

MM.

BESANÇON (**M.-J.**), Répétiteur à l'École Turgot, 4, boulevard Saint-Martin.

BESOMBES, Commis principal des télégraphes, à Marseille.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BILLON-DAGUERRE (**Armand Di**), 14, rue Deguerry.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Député, 3, rue Taitbout.

BLAVIER, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, 62, rue Nicolo.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOISTEL, Ingénieur civil, 8, rue Picot (avenue du Bois-de-Boulogne).

BOITEL, Professeur agrégé de Physique, 3, rue Soufflot.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Inspecteur-Ingénieur des télégraphes, 103, rue de Grenelle.

BONTEMS (**Emile**), Lieutenant au 71e de ligne, à Saint-Brieuc.

BONVALOT, Ingénieur, à Dijon, 1, place Saint-Jean.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

BORGMANN, Privat-docent à l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDET DE PÂRIS (**Dr M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 340, rue Saint-Jacques.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOURGET, Recteur de l'Académie de Clermont-Ferrand.

BOUSQUET, Directeur de l'École normale de Châteauroux.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 1, rue des Deux-Portes-Saint-Jean.

BOUTY, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Ecole libre de hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Professeur à la Faculté des Sciences, rue 27, Raymond IV, à Toulouse.

MM.

BRION, Professeur en retraite, 92, rue du XIV Juillet prolongée, à Jurançon, par Pau (Basses-Pyrénées).

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon à Courbevoie.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur à la Faculté de Dijon.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUISSON (**Maxime**) Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Ingénieur, 1, rue Andrieux.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.

CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.

CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine et 75, boulevard Saint-Michel.

CALMETTES, Professeur au Lycée Condorcet.

CARAGUEL, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 20, rue Delambre.

CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

CAVAGLIONE, Ex-Commissaire de l'Italie à l'Exposition internationale d'Électricité, 62, avenue des Champs-Elysées.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAZES, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

CHAPERON (**Georges**), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 12, rue de la Sorbonne.

CHAPPUIS, Professeur à l'École centrale, 11, rue de Condé.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

MM.

CHAUVEAU, Professeur de Physique au Lycée, 109, rue du Port, à Lorient.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro.

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVERIE, Professeur au Lycée, 62, rue Lachasseigne, à Bordeaux.

CLÉRAC, Sous-Insp^r des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.

COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON, Capitaine du Génie, 11, avenue Lamothe-Piquet.

COMBES (**A.**), Ancien élève de l'École Polytechnique, 13, rue de Tournon.

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.

COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 58, rue de Ponthieu.

COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur au Collège libre de Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire de Bruxelles.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 5, place Saint-François-Xavier.

COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROS (**Ch.**), 163, rue de Rennes.

CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, à Montpellier.

CURIE (**Pierre**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, 2, rue de Saint-Simon.

CUSCO (le D^r), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 50, rue Delaborde.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DAGUIN, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 1, rue de Tounis, à Toulouse.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMIEN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DANIEL, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DAVOINE, Professeur au petit séminaire de Cambrai.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

DEBRUN, Professeur au Lycée d'Auch.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DELATTRE (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

MM.

DELAURIER, 77, rue Daguerre.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 111, rue de Rennes.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard St-Michel.

DESCHIENS (**Victor**), Ingénieur, 90, rue de Maubeuge.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 34, rue Gay-Lussac.

DESPLATS, Professeur au Lycée Condorcet, 221, faubourg Saint-Honoré.

DESPRATS, Professeur au Collège de Millau.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest.

DIDIER, Agrégé préparateur à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm.

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOLINSKI (**F.**), Licencié ès Sciences, 48, rue Vivienne.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, à Troyes.

DOULIOT, Principal du Collège d'Épinal.

DRINCOURT, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 29, rue Cosette, à Amiens.

DUBOSCQ (**Jules**), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUBOSCQ (**Théodore**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUBRISAY (**Louis**), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 6, rue Marengo.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCHESNE, Préparateur de Physique au Collège de France, 115, boulevard Saint-Germain.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Inspecteur primaire à Muret.

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 43, avenue de l'Observatoire.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

DUJARDIN, 89, boulevard Saint-Michel.

DUMARTIN (**Horace**), Ingénieur civil, 28, rue d'Argivillers, à Versailles.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

DUPUY, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

MM.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 5, rue de Mirbel.
DYBLOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 7, rue Rottembourg (Bel-Air).

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).
EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).
EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de physique à l'Université de Varsovie (Russie).
EHRHART (**Théophile**), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.
EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.
ÉLIE, Professeur au Collège, 74, rue Saint-Gilles, à Abbeville.
ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).
ÉTARD (**Alexandre**) 49, boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Condorcet, 115, rue Saint-Lazare.
FAURE (**Camille**), Ingénieur, à Saint-Brice (Seine-et-Oise).
FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.
FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).
FAYE, Membre de l'Institut, 6, boulevard d'Enfer.
FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue Claude-Bernard.
FERRAY (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.
FERRO CARDOSO (**Daniel Pedro**), Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FLAMARY, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.
FONTAINE (**Hippolyte**), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.
FOURNIER (**Félix**), 119, rue de l'Université.
FOURTEAU, Professeur au Collège Rollin, 83, rue d'Assas.
FOUSSEREAU, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard Port-Royal.
FRICKER (**Dr**), 36, rue Notre-Dame de Lorette.
FRIDBLATT (**A.**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.
FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.
FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Inspecteur d'Académie, 35, route de Limoges, à Guéret.
GARBE, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.
GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.
GARIEL (**C.-M.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.
GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).
GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.

MM.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

GENDRON (**Rudolph**), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

GÉRALDY (**Frank**), Ingénieur électricien, 33, rue Saint-Denis, à Asnières.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

GERBOZ (**P. C.**), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 17, rue Médicis.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège de Roubaix.

GILLET DE GRANDMONT (**Dr**), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAUD, Ingénieur-Mécanicien, 18, rue de Paris (Clichy).

GLASEWSKI (**P.-J.-Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, 59, rue de la Butte-Chaumont.

GODARD (**Léon**), Agrégé de l'Université, 26, rue Denfert-Rochereau.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 212, boulevard d'Enfer.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOLOUBITZKY, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOSSART (**Ferdinand**), 15, rue Tronchet.

GOSSART, Professeur au Lycée de Chambéry.

GOSSE, Préparateur au Lycée Saint-Louis.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vaneau.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, 44, rue François Ier.

GOUY, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences, 2, place des Squares, à Lyon.

GRAMMACINI (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

GRAVIER, Ingénieur, 25, rue Lezsno, à Varsovie (Russie).

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co, 106, Cannon street, Londres.

MM.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown. Essex, à Londres.

GRÉHANT (**Dr**), Aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, 17, rue Berthollet.

GREZEL (**Louis**), Professeur au Collège de Nantua.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Bourbon, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Lyon, 22, cours Morand.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Rourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin), (Loire-Inférieure).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 47, E. C. P. Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine de Paris, 15, rue Soufflot .

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉRIN (**Émile**), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

GUEROUT, Ingénieur électricien, 8, rue Saint-Lazare.

GUILLAUME, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil (Sèvres).

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUNTZ, Préparateur de Chimie au Collège de France.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

HARDY (Dr E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HELOUIS, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

HEPITÈS (**Stefan**), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines à Bucarest (Roumanie).

HEPITÈS (**Virgile**), Major, Professeur à l'École spéciale de l'Artillerie et du Génie, à Bucarest (Roumanie).

HESEHUS (**N.**), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUET, Inspecteur-Ingénieur des télégraphes à Constantine (Algérie).

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences, 4, traverse du Chapitre, à Marseille.

HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

MM.

HUSSON (**Léon**), Commis principal de l'*Eastern Telegraph Company*, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

IMBERT (**Armand**), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Lyon.

INFREVILLE (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Melun.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.

JAMIN, Membre de l'Institut, 2, carrefour de l'Odéon.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JENNESSON, ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur de la *Revue industrielle*, 15, rue Drouot.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur-Directeur du journal *l'Autunois*, à Autun.

KABATH (**de**), Ingénieur, 9, rue du Renard.

KAREIS, Professeur, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine adjudant-major au 121e de ligne, à Lyon.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, à Bordeaux.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

MM.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 18, rue Saint-Sulpice.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue Saint-Ambroise, à Melun.

LALLEMAND, Membre correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, 14, rue Mochowaia, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY (**Gaspard**), 52, Grande-Rue, à Issy-sur-Seine.

LANGLADE, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

LAPLAICHE (**Alexandre**), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, 25, rue de Château Landon.

LAROCHE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LARTIGUE, Directeur de la Société générale des téléphones, 41, rue Caumartin.

LATCHINOW, Prof. à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée, 41, faubourg Saint-Jean, à Nancy.

LAW (**Arthur B.**), hôtel de Nantes, à Bordeaux.

LAWTON (**George Fleetwood**), Électricien de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 103, avenue de Villiers.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 9, rue Taylor.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège de Valognes.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 30, rue Gay-Lussac.

LE CHATELIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 7, rue Nicole.

LE CHATELIER, Élève ingénieur des constructions navales, 74, rue de Rennes.

LE CHATONNIER, Préparateur de Physique au Lycée Condorcet.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac

LE CORDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, 1, rue Bourbon-le-Château.

LE DOLLEY, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

LEDUC, Professeur au Collège Stanislas.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEFÈVRE, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, chaussée du Maine.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LEPERCQ (**Gaston**), 104, rue Solférino, à Lille.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESCHI, Professeur au Collège d'Ajaccio (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉVY, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPMANN, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

LORRAIN (**James-Grieves**), Ingénieur civil, 1, Wardrobe Place Doctors Commons, London. E. C.

LOUGUININE, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), R. Liceo Marco Polo, Venezia (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LVOFF (**Th.**), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MAGNE, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

MAIGRET (**D^r**), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAISONOBE, Lieutenant au 3e régiment d'Artillerie, à Castres.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MANGIN, Colonel du Génie, 34, boulevard des Invalides.

MARÉCHAL, Professeur au Lycée Condorcet, 52, rue Lemercier.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MASCART, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSE, Professeur au Lycée de Vanves, 17, rue de Chevreuse, à Issy-sur-Seine.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 50, rue Vittal (Passy).

MM.

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 39, rue Claude-Bernard.

MEAUX (de), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Bruxelles, 17, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.

MÉNIER (Henri), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 62, rue Monge.

MÉRITENS (de), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERSANNE (de), Ingénieur civil, 108, boulevard Arago.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

MEURIEN, Pharmacien, à Lille.

MEYER (Bernard), Ingénieur des télégraphes, 12, rue Portalès.

MEYSENHEIM (Louis-Maria), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MOITESSIER (Albert), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MONDOS (Robert), Ingénieur, 47bis, boulevard Eugène (Neuilly-Paris).

MONTFERRIER (Abel de), 20, rue Godot-de-Mauroy.

MONTHIERS (Maurice), 70, rue d'Amsterdam.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTEFIORE, 7, rue Christophe-Colomb.

MONTEIL (Silvain), Professeur au Collège de Vannes.

MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORRIS, Chef du Bureau au Ministère des Postes et des télégraphes, 83, rue de Rennes.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOSER (Dr James), 7, Anhalt Strasse, Berlin.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac. Michel.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**, F. C. S.), 29, Regency-Street, Westminster S. W., Londres.

MUIRHEAD (John), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

MM.

NACHET (Jeune), Constructeur d'instruments d'optique, 63, rue de Grenelle.

NAPOLI (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NAMBA MASSACHI, 7, rue Casimir-Delavigne.

NERVILLE (**de**), Sous-Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NOAILLON, Ingénieur civil, 25 *bis*, rue Gutenberg, à Boulogne-sur-Seine.

ODINOT, Professeur au Collège d'Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin-du-Nord, à Douai.

OFFRET, Agrégé préparateur au Collège de France, 23, boulevard Saint-Germain.

OGIER (**Jules**), Préparateur au Collège de France, 21, rue Jacob.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PALMADE, Professeur au Lycée Henri IV, 70, rue Monge.

PALMADE, Capitaine du Génie, à Kairouan (Tunisie).

PANZANI (**J.-P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

PARAYRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (**Dr**), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUCHON (**Ernest**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Superintendent Eastern Telegraph Co, 2, à Port-Saïd (Egypte).

PEDROSO (**Carlos de**), 45 avenue d'Iéna.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (**Dr J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUX, Professeur de Physique à Poitiers.

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 37, rue des Plantes, au Mans.

MM.

PHILIPPART (**Simon**), Ingénieur, 5, avenue de l'Opéra.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

PILLEUX, rue du Prévôt, à Beauvais.

PINEL (**Charles-Louis**), Ingénieur-Mécanicien, 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Préparateur à l'École normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POINCARÉ, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, professeur à l'École d'application du Génie maritime, 118, rue d'Assas.

PONCELET, Pharmacien à Morez (Jura).

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 5, rue d'Argenteuil.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier, Château de Thuit-Hébert, par Bourgtheroulde (Eure).

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles du Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAULX, Commis principal des télégraphes, à Bourges.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND, Élève-Ingénieur de la Marine, 29, quai de la Tournelle.

RAYNAUD, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

MM.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER. Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 50, rue Truffault.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Administrateur délégué de la Société Générale des Téléphones, 4, rue d'Aboukir.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.

RIGAUD (**J.**), Docteur en Médecine, 44, rue des Boulangers.

RIGOUT, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 20, rue de la Sorbonne.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'École de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 8, avenue Hoche.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROLLAND (**E.**), Membre de l'Institut, Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, 23, rue Lepeletier.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

ROUBY (**Emmanuel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, avenue Duquesne.

ROUSSE, Professeur au Lycée, 23, rue Neuve, à Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

MM.

SAMBOURG (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 31, avenue de Neuilly-sur-Seine.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 37, rue Rodier.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**Henri**), Contrôleur du service technique des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

SEBERT, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 70, boulevard Saint-Michel.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Docteur ès sciences, Privat-docent, à l'Université de Saint-Pétersbourg, au Cabinet de Physique de l'Université, à St-Pétersbourg (Russie).

SOLIGNAC, Ingénieur, 208, rue Saint-Maur.

SOMZÉE, Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STREET, Ingénieur, 27, rue Tronchet.

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef de Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

TERNANT, Représentant de l'Eastern Telegraph C°, 2, boul. du Muy, à Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.
THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.
THIERCELIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, 10, rue de Gênes à Oran.
THOLLON, à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).
THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à University College, Bristol (Angleterre).
THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).
THYRION, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.
TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).
TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.
TOMMASI (**Donato**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.
TOMMASI (**Ferdinando**), Professeur de Chimie, 13, rue Daru.
TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).
TRIPIER (le Dr), 4, rue de Hanovre.
TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 34, quai Henri IV.
TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.
TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.
TURRIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.
VAGNIEZ BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.
VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.
VALETTE, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 49, rue de Grenelle.
VAN BIERVIELT, Candidat ès Sciences physiques et mathématiques.
VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, Coupure, à Gand (Belgique).
VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.
VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.
VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de physiologie générale au Muséum, 7, rue de Tournon.
VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.
VASCHY, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 36, rue du Dragon.
VAUCHERET, Lieutenant-colonel d'Artillerie, Professeur à l'École supérieure de guerre, 70, boulevard du Montparnasse.
VAUTIER (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.
VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 20, avenue de l'Observatoire.

MM.

VILLY, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

VIOLET (**Léon**), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, 15, rue de l'Estrapade, à Paris.

VION, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

VOIGT, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

VOYS (**A. de**), Ex-Commissaire des Pays-Bas à l'Exposition internationale d'Électricité, 52, boulevard Malesherbes.

WAHA (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

WEISS, Élève Ingénieur à l'École des Ponts et Chaussées, 56, rue Bonaparte.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 50, route d'Aubervilliers, à Pantin.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WROBLEWSKI (**Dr Sigismond de**), Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

XAMBEU, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

Avril 1884.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1883 2
Allocution de M. Gernez 3
Définition des couleurs complémentaires; par M. *A. Rosenstiehl* 8
Recherches sur la comparaison photométrique des sources diversement colorées, et en particulier sur la comparaison des diverses parties d'un même spectre; par MM. *J. Macé de Lépinay* et *W. Nicati* 11

SÉANCE DU 19 JANVIER 1883 23
Extrait de la Note de M. Silvanus Thompson sur la représentation de la loi de rendement d'un électromoteur; par M. *René Benoît* 26
Remarques au sujet des courbes électriques doubles; par M. *Pellat* 30

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1883 34
Papier positif direct pour la Photographie; par MM. *Ch. Cros* et *Aug. Vergeraud* 37
Recherches sur la durée de la solidification des corps surfondus; par M. *D. Gernez* 38

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1883 41
Note sur les franges des lames cristallisées et sur leur projection dans la lumière monochromatique; par M. *Bertin* 43
Méthode générale pour renforcer les courants téléphoniques; par M. *James Moser* 54

SÉANCE DU 2 MARS 1883 57
Note sur un spectroscope à fente inclinée; par M. *Garbe* 59
Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1882 62

SÉANCE DES 27 ET 28 MARS 1883 63
Discours de M. Mascart, Président du Comité de souscription 65
Sur un bec à flamme intermittente; par M. *Neyreneuf* 67
Description d'un hygromètre à condensation intérieure; par M. *Crova* 69
Programme des appareils exposés à la séance de Pâques 73

SÉANCE DU 6 AVRIL 1883 75
Appareils d'optique destinés à contrôler les surfaces planes parallèles, perpendiculaires et obliques; par M. *Léon Laurent* 77

Pages.

SÉANCE DU 20 AVRIL 1883 84
Sur la résistance électrique du verre aux basses températures; par M. *Foussereau* 86
Les piles au bichromate de potasse de M. G. Trouvé. Résultats d'expériences faites sur deux batteries de six éléments par M. *Hospitalier* 99

SÉANCE DU 4 MAI 1883 103
Sur la variation des indices de réfraction de l'eau et du quartz sous l'influence de la température; par M. *H. Dufet* 104

SÉANCE DU 18 MAI 1883 108
Sur les limites du transport de la force à distance par des lignes télégraphiques aériennes; par M. *H. Hospitalier* 110
Remarque sur la Communication précédente; par M. *Cabanellas* 119

SÉANCE DU 1er JUIN 1883 121
Sur la puissance des appareils dioptriques; par M. *A. Guébhard* 122
Sur la radiation de l'argent au moment de sa solidification; par M. *Violle*. 129

SÉANCE DU 15 JUIN 1883 132
Sur un baromètre à gravité; par M. *Mascart* 135

SÉANCE DU 6 JUILLET 1883 143
Analyse des mouvements du vol des oiseaux par la Photographie; par M. *Marey* 144
Théorie générale des systèmes dioptriques centrés; par M. *F. Monoyer*. 148

SÉANCE DU 20 JUILLET 1883 175
Description du nouveau cathétomètre de M. Dumoulin-Froment; par M. *A. Terquem* (avec planche) 178

SÉANCE DU 16 NOVEMBRE 1883 185
Pile étalon pour la mesure des forces électromotrices; par M. *Émile Reynier* 186
Sur la force électromotrice des couples à un seul électrolyte; par M. *Émile Reynier* 190
Sur les indices de réfraction des gaz comprimés; par MM. *J. Chappuis* et *C. Rivière* 193

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1883 197

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1883 198
Étude des courants telluriques; par MM. *E.-E. Blavier* 201
Liste des ouvrages reçus pendant les années 1882 et 1883 209
Liste des Membres de la Société 215

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

8494 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.